

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE  
DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
INGENIERO AGRÓNOMO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**



**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**BIOFUMIGACIÓN COMO ALTERNATIVA PARA EL CONTROL DE NEMÁTODOS  
FITOPATÓGENOS, EN PRODUCCIONES HORTÍCOLAS CON ENFOQUE  
ORGÁNICO, VISTA VOLCANES, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO,  
GUATEMALA.**

**WALTER ANIBAL MILIÁN MILIÁN**

**QUETZALTENANGO, ABRIL DE 2016**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE  
DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
INGENIERO AGRÓNOMO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**



**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**BIOFUMIGACIÓN COMO ALTERNATIVA PARA EL CONTROL DE NEMATODOS  
FITOPATÓGENOS, EN PRODUCCIONES HORTÍCOLAS CON ENFOQUE  
ORGÁNICO, VISTA VOLCANES, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO,  
GUATEMALA.**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Presentado a las autoridades de la División de Ciencia y Tecnología del Centro  
Universitario de Occidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala

**WALTER ANIBAL MILIÁN MILIÁN**

Como requisito previo a optar el Título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

En el Grado Académico de:

**LICENCIADO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

Quetzaltenango, Abril de 2016.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE  
DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
INGENIERO AGRÓNOMO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**AUTORIDADES**

Rector Magnífico: Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo.  
Secretario Administrativo: Dr. Carlos Enrique Camey Rodas.

**CONSEJO DIRECTIVO**

Directora General del CUNOC: MSc. María del Rosario Paz Cabrera.  
Secretario Administrativo: MSc. Silvia del Carmen Recinos Cifuentes

**REPRESENTANTES DE LOS CATEDRÁTICOS**

Ing. Agr. MSc. Héctor Alvarado Quiroa.  
Ing. Edelman Cándido Monzón López.

**REPRESENTANTE DE LOS EGRESADOS**

Dr. Luis Emilio Búcaro Echeverría.

**REPRESENTANTES DE LOS ESTUDIANTES**

Br. Luis Ángel Estrada García.  
Br. Edson Vitelio Amézquita Cutz.

**DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez.

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE AGRONOMÍA**

Ing. Agr. MSc. Imer Vinicio Vásquez Velásquez.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE  
DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
INGENIERO AGRÓNOMO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN TÉCNICO PROFESIONAL**

**PRESIDENTE:**

Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez.

**EXAMINADORES:**

Ing. Agr. Wilian Villatoro P.  
Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez.  
Ing. Agr. Carlos E. Gutiérrez L.

**SECRETARIO:**

Ing. Agr. MSc. Imer Vinicio Vásquez Velásquez.

**DIRECTOR DE LA DIVISIÓN**

Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez.

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE AGRONOMÍA**

Ing. Agr. MSc. Imer Vinicio Vásquez Velásquez.

**NOTA:**

“Únicamente el autor es responsable de las doctrinas y opiniones sustentadas en la presente tesis”. (Artículo 31 del Reglamento para Exámenes Técnicos Profesionales del Centro Universitario de Occidente, y Artículo 19 de la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala).

Quetzaltenango, Abril de 2016.

**HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO  
HONORABLES AUTORIDADES DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
HONORABLE MESA DE ACTO DE GRADUACIÓN Y JURAMENTACIÓN**

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, del Reglamento General de Evaluación y Promoción del Estudiante de la Universidad de San Carlos de Guatemala y del Normativo de Evaluación y Promoción del Estudiante del Centro Universitario de Occidente, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

**BIOFUMIGACIÓN COMO ALTERNATIVA PARA EL CONTROL DE NEMÁTODOS  
FITOPATÓGENOS, EN PRODUCCIONES HORTÍCOLAS CON ENFOQUE  
ORGÁNICO, VISTA VOLCANES, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO,  
GUATEMALA.**

Como requisito previo a optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Deferentemente,

---

**Walter Anibal Milián Milián**

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**



*Universidad de San Carlos de Guatemala*  
*Centro Universitario de Occidente*

Quetzaltenango, 4 abril de 2016.

Lic. Aroldo Roberto Méndez  
Director División de Ciencia y Tecnología  
Centro Universitario de Occidente.

Distinguido Director:

Me dirijo a Usted para hacer de su conocimiento que he proporcionado al estudiante: **Walter Anibal Milián Milián** carnet No. **200117103**, la asesoría requerida para desarrollar su trabajo de investigación titulado:

**“BIOFUMIGACION COMO ALTERNATIVA PARA EL CONTROL DE NEMATODOS FITOPATOGENOS, EN PRODUCCIONES HORTICOLAS CON ENFOQUE ORGANICO, VISTA VOLCANES, LA ALAMEDA CHIMALTENANGO, GUATEMALA”**

Sobre el particular me es grato manifestarle, que luego de concluida la asesoría requerida, tanto del trabajo de campo como de gabinete, considero que el estudio reúne los requisitos exigidos por esta unidad académica para ser presentado como trabajo de graduación. Además de ser un valioso aporte en la generación de alternativas de control orgánico para nemátodos fitopatógenos, lo que permite el desarrollo de procesos de producción agrícola sostenible y en mayor armonía con el ambiente.

Sin otro particular y agradeciendo su atención, me despido de Usted, deferentemente.

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

  
Inga. Agra. MSc. **Florida Jacobs Reyes**  
Asesora



Quetzaltenango, 19 de abril de 2016.

Licenciado Q.F. Aroldo Roberto Mèndez Sànchez  
Director de la División de Ciencia y Tecnología.  
Centro Universitario de Occidente.

Apreciable Señor Director:

Atendiendo al nombramiento que la Dirección a su cargo me confiriera, a través del Oficio No.056/SDCyT/2016, de fecha 14 de abril de 2016, me permito informarle que he concluido la revisión del trabajo de graduación del estudiante universitario WALTER ANÍBAL MILIÁN MILIÁN titulado:

“BIOFUMIGACIÓN COMO ALTERNATIVA PARA EL CONTROL DE NEMÀTODOS FITOPATÒGENOS EN PRODUCCIONES HORTÌCOLAS CON ENFOQUE ORGÀNICO. VISTA VOLCANES, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO, GUATEMALA”

Aprovecho la oportunidad para indicarle la importancia del trabajo, el cual cumple con los requisitos para su aprobación.

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

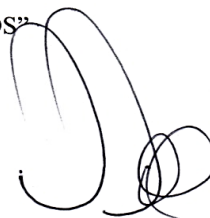
Ing. Agr. M. Sc. Carlos E. Gutiérrez L.  
Colegiado 372  
REVISOR.

*Centro Universitario de Occidente*  
*División de Ciencia y Tecnología*

El infrascrito **DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGIA** \_\_\_\_\_  
Del Centro Universitario de Occidente ha tenido a la vista la **CERTIFICACIÓN DEL ACTA DE GRADUACIÓN** No. 006-AGR-2016 de fecha diecinueve de abril del año dos mil dieciséis del (la) estudiante: WALTER ANIBAL MILIÁN MILIÁN con Carné No. 200117103 emitida por el Coordinador de la Carrera de AGRONOMIA \_\_\_\_\_, por lo que se **AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN** titulado: “**BIOFUMIGACIÓN COMO ALTERNATIVA PARA EL CONTROL DE NEMÁTODOS FITOPATÓGENOS, EN PRODUCCIONES HORTÍCOLAS CON ENFOQUE ORGÁNICO, VISTA VOLCANES, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO, GUATEMALA .**”

Quetzaltenango, 19 de abril de 2016.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Lic. Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez  
Director de División de Ciencia y Tecnología



## **ACTO QUE DEDICO**

**A:**

**Mi esposa e hijo por motivar mi vida.**

**Mis padres, por trazar el proyecto de su vida, de convertir a sus seis hijos en profesionales universitarios.**

**Mis hermanos y amigos por su aporte directo e indirecto a este proyecto.**

**Las instituciones y personas que aportaron en la elaboración de esta investigación.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A:

**A: Dios: Padre, Hijo y Espíritu Santo por la dádiva del conocimiento y la sabiduría.**

**Mi esposa e hijo por ser parte de mi vida**

**Mis padres, por ser los precursores de este proyecto de vida que culmina una más de sus fases.**

**Mis hermanos y amigos por el aporte directo e indirecto a este proyecto.**

**Las instituciones y personas que participaron en la elaboración de esta investigación.**

**BIOFUMIGACIÓN COMO ALTERNATIVA PARA EL CONTROL DE NEMÁTODOS  
FITOPATÓGENOS, EN PRODUCCIONES HORTÍCOLAS CON ENFOQUE  
ORGÁNICO, VISTA VOLCANES, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO, GUATEMALA.**

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>1.1 OBJETIVOS</b> .....	4
1.1.1 General.....	4
1.1.2 Específicos.....	4
<b>1.2 HIPÓTESIS</b> .....	5
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	6
2.1. Antecedentes y base científica: .....	6
2.2. Biología de nemátodos fitopatógenos:.....	7
2.3. Técnicas no químicas para el control de nemátodos:.....	9
2.4. Materia orgánica y su descomposición en el suelo:.....	9
2.5. Biofumigación como nematicida: .....	10
2.6. Brócoli como material biofumigante: .....	11
2.7. Experiencias con biofumigación en Guatemala: .....	11
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	13
<b>3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	13
3.1.1 Ubicación geográfica:.....	13
3.1.2 Características físico-biológicas:.....	13
<b>3.2 METODOLOGÍA</b> .....	14
3.2.1 Descripción de la investigación:.....	14
3.2.2 Diseño experimental: .....	14
3.2.3 Descripción de los tratamientos:.....	14
3.2.4 Modelo matemático:.....	14
3.2.5 Croquis del ensayo de campo:.....	15
3.2.6 Unidad experimental:.....	15
3.2.7 Variables de respuesta:.....	15
3.2.8 Manejo agronómico de la investigación:.....	16
3.2.9 Análisis de la información:.....	18
3.2.10 Recursos:.....	19
<b>4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	20
4.1. Efecto de tratamientos sobre población final de <i>Pratylenchus</i> spp:.....	21
4.1.1. Análisis estadístico de población final de <i>Pratylenchus</i> spp.....	23
4.2 Eficacia de tratamientos sobre el género <i>Pratylenchus</i> spp.....	25
4.3 Efecto de tratamientos sobre población final de <i>Meloidogyne</i> spp:.....	25
4.3.1. Análisis estadístico de población final de <i>Meloidogyne</i> spp.....	27
4.4. Eficacia de tratamientos sobre el género <i>Meloidogyne</i> spp.....	29
<b>5 CONCLUSIONES</b> .....	30
<b>6 RECOMENDACIONES</b> .....	31
<b>7 CRONOGRAMA GENERAL DE ACTIVIDADES</b> .....	32
<b>8 BIBLIOGRAFÍA</b> .....	33

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características de la connotación El Tejar.....	13
Cuadro 2. Diagrama de distribución de tratamientos y repeticiones.....	15
Cuadro 3. Cantidad de biofumigante aplicado.....	17
Cuadro 4. Recursos y costos del experimento.....	19
Cuadro 5: Resultado nematológico.....	20
Cuadro 6. Análisis de varianza al 95% de significancia, para <i>Pratylenchus</i> spp.	23
Cuadro 6. Prueba de Medias de Tukey al 95% de probabilidad, para <i>Pratylenchus</i> spp.....	24
Cuadro 7. Análisis de varianza al 95% de significancia para <i>Meloidogyne</i> spp....	27
Cuadro 8. Prueba de Medias de Tukey al 95% de probabilidad, para <i>Meloidogyne</i> spp.....	28

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Características morfológicas de nemátodos fitopatógenos.....	8
Figura 2. Ciclo biológico de <i>Meloidogyne incognita</i> .....	8
Figura 3. Población inicial de nemátodos fitopatógenos por 100 gramos de suelo....	21
Figura 4. Control de <i>Pratylenchus</i> spp vrs población inicial, temporada 1.....	21
Figura 5. Control de <i>Pratylenchus</i> spp vrs población inicial, temporada 2.....	22
Figura 6. Control de <i>Meloidogyne</i> spp vrs población inicial, temporada 1.....	26
Figura 7. Control de <i>Meloidogyne</i> spp vrs población inicial, temporada 2.....	26

## RESUMEN

El crecimiento poblacional en el mundo demanda un aumento en la productividad agrícola para satisfacer las necesidades de alimentos. Por tal razón, se ha recurrido a la agricultura intensiva de monocultivo que provoca desequilibrio en el recurso suelo, favoreciendo la proliferación de microorganismos fitopatógenos, que obligan al agricultor a utilizar desinfectantes de suelo, de toxicología y residualidad alta. Dado que los mercados demandan alimentos inocuos, se hace necesario encontrar soluciones que disminuyan la carga química en las producciones.

Interesados y necesitados de encontrar alternativas de desinfección de suelo amigables con el ambiente, en la presente investigación se determina la eficacia del método de biofumigación con *Brassica oleracea* var. *Italica* para el control de nemátodos fitopatógenos que causan daño a la horticultura. El método fue evaluado durante seis semanas, en dos temporadas distintas, utilizando el diseño experimental de bloques al azar, con dosis de 4 kg/m<sup>2</sup>, 3 kg/m<sup>2</sup>, 2 kg/m<sup>2</sup>, 1 kg/m<sup>2</sup> y el testigo con 0 kg/m<sup>2</sup>. El procedimiento consistió en incorporar el biofumigante uniformemente en el suelo húmedo e inmediatamente cubrirlo con película plástica.

Con los resultados obtenidos se determinó que las dosis con mayor eficacia para el control de nemátodos fitopatógenos del géneros *Pratylenchus* spp y *Meloidogyne* spp, fueron las de 4 kg/m<sup>2</sup> y 3 kg/m<sup>2</sup>, para ambas temporadas, no habiendo diferencia estadística significativa entre ambos tratamientos como tampoco entre temporadas. Tomando un promedio de ambas temporadas, se determinó que la población del géneros *Pratylenchus* spp disminuyó en 93.9% al aplicar 4 kg/m<sup>2</sup> y en 91.8% al aplicar 3 kg/m<sup>2</sup>. La población del género *Meloidogyne* spp disminuyó en 86.8% al aplicar 4 kg/m<sup>2</sup> y 86.6% al aplicar 3 kg/m<sup>2</sup>. Por lo cual, no habiendo diferencia estadística significativa y tomando en cuenta el costo económico, se recomienda la aplicación de 3 kg/m<sup>2</sup> de residuos de brócoli en cualquier época del año, en condiciones climáticas similares al departamento de Chimaltenango.

Al aplicar dosis de 2 kg/m<sup>2</sup> o inferior, se determinó que la población de nemátodos fitopatógenos pueden incrementarse, debido a la baja concentración de sustancias volátiles liberadas en el proceso de biodegradación y otros factores biológicos que interactúan con los microorganismos.

## 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico promedio en general es en forma exponencial, paralelamente se tiene la creciente demanda de alimentos, lo cual exige una mayor productividad por unidad de área; en respuesta a ello se ha recurrido a técnicas y métodos de producción, que si bien aciertan, ponen en riesgo la sostenibilidad del recurso suelo. Por su parte los consumidores demandan productos sin residuos de pesticidas y con alto valor nutritivo, que sean producidos mediante la aplicación de técnicas agrícolas respetuosas con el ambiente y salud humana. Por tales razones, los productores están interesados en encontrar nuevos sistemas de cultivos que permitan reducir el efecto negativo de plagas y enfermedades, bajo la denominación de “Producción Orgánica”.

Una alternativa para mantener suelos sanos de alta productividad, orgánica y limpia, es la técnica de biofumigación, que se define como: “la acción de las sustancias volátiles producidas en la biodegradación de la materia orgánica incorporada al suelo” (Bello. 2000); además de ser un desinfectante eficaz del suelo, adiciona nutrientes, mejorando la actividad biológica y características fisicoquímicas del suelo.

La técnica “incrementa su eficacia en el tiempo, cuando forma parte de un sistema de producción integrada” (Bello et al. 1998). La forma de acción se basa en la desnaturalización de las proteínas constitutivas y destrucción de las células de los nemátodos, por lo cual, es similar a lo que ocurre con el bromuro de metilo, diferenciándose en que los gases liberados provienen de la descomposición de materia orgánica. La alta temperatura que se origina del proceso de descomposición, potencia su efecto sobre los fitopatógenos del suelo.

Entre las ventajas de utilizar la técnica de biofumigación está el bajo costo que representa en comparación con los productos químicos, debido que los materiales biofumigantes son constituidos por diferentes tipos de materia orgánica tal como rastrojos, abonos verdes, residuos agroindustriales, estiércol de ganado bovino, equino, caprino, ovino, entre otros, dependiendo la eficacia, de la dosis y técnica de aplicación. No se conocen efectos negativos sobre el ambiente y la salud humana (Bello et al 1998).

En la presente investigación, se determina la dosis adecuada de residuos de brócoli para el control de nemátodos fitopatógenos en cultivos hortícolas con enfoque orgánico, mediante la técnica de biofumigación, utilizando cuatro dosis de residuos de brócoli más un testigo (no biofumigado), todos con sello de plástico para evitar el escape de los gases liberados, con cuatro repeticiones, en dos temporadas. La evaluación se condujo bajo condiciones protegidas (casa malla) con una fase de campo de seis semanas. Para su ejecución y análisis, se utilizó el diseño experimental bloques al azar. Al inicio y al final de la fase de campo se tomaron muestras de cada tratamiento, mismas que fueron enviadas



al laboratorio para realizar los análisis nematológicos. Posteriormente se realizó el análisis estadístico, utilizando los resultados del laboratorio.

Tomado como referencia las poblaciones iniciales de 30 y 100 nemátodos fitopatógenos del género *Pratylenchus* spp por cada 100 gramos de suelo para la primera y segunda temporada respectivamente, como también 240 y 410 nemátodos fitopatógenos del género *Meloidogyne* spp por cada 100 gramos de suelo para la primera y segunda temporada respectivamente, se comprobó que las dosis de biofumigante con mayor eficacia sobre las poblaciones de nemátodos fitopatógenos de ambos géneros fueron las de 4 kg/m<sup>2</sup> y 3 kg/m<sup>2</sup> en ambas temporadas.

Al aplicar 4 kg/m<sup>2</sup> redujo la población de nemátodos del géneros *Pratylenchus* spp en 93.9% en promedio de ambas temporadas y en 91.8% al aplicar 3 kg/m<sup>2</sup>. Al aplicar 4 kg/m<sup>2</sup> redujo la población del género *Meloidogyne* spp en 86.8% en promedio de ambas temporadas y 86.6% al aplicar 3 kg/m<sup>2</sup>. No habiendo diferencia estadísticamente significativa entre temporadas ni entre los dos tratamientos citados, se recomienda la aplicación de 3 kg/m<sup>2</sup> de residuos de brócoli en cualquier época del año, en condiciones climáticas similares al departamento de Chimaltenango, Guatemala.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. General

Determinar el efecto del método de biofumigación con *Brassica oleracea var. Italica* en el control de nemátodos fitopatógenos que causan daño a la horticultura.

### 1.1.2. Específicos

1. Determinar, qué tratamiento con *Brassica oleracea var. italica*, disminuye significativamente la población de nemátodos fitopatógenos.
2. Comparar las poblaciones finales de nemátodos de los diferentes tratamientos biofumigados con las iniciales y las del testigo sin biofumigar.
3. Comprobar si existe diferencia de efectividad entre temporadas en el proceso de biofumigación.

## 1.2. HIPÓTESIS

**Ha:** Al menos uno de los tratamientos de biofumigación mediante la incorporación de residuos de *Brassica oleracea* var. *itálica*, mostrará diferencia significativa, en cuanto a la población de nemátodos fitopatógenos por 100 gramos de suelo.

**Ho:** Ninguno de los tratamientos de biofumigación mediante la incorporación de residuos de *Brassica oleracea* var. *itálica*, mostrará diferencia significativa, en cuanto a la población de nemátodos fitopatógenos por 100 gramos de suelo

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes y base científica:

La biofumigación está definida como: the suppression of soil-borne pest and pathogen by brassica rotation or green manure crops Kirkegaard y Sarwar, citado por Bello, A (2003). Otra definición importante es la de Tello y Bello citada por Díaz Hernández (2005), quienes la detallan como un método de desinfección de suelo que utiliza los gases generados en la descomposición de materia orgánica fresca aplicada al suelo en cantidades importantes (5kg/m<sup>2</sup>) para controlar bacterias, hongos, nemátodos y malas hierbas. Así se tiene que la biofumigación es: "**la acción de las sustancias volátiles producidas en la biodegradación de la materia orgánica en el control de los patógenos de las plantas, incrementándose su eficacia cuando se incluyen en un sistema integrado de producción de cultivos**" (Bello, A; 1998). La diferencia entre otras enmiendas orgánicas y la biofumigación, radica en que los materiales utilizados se incorporan al suelo sin descomponerse, por lo que en el mismo suelo ocurre el proceso de biodegradación.

Las enfermedades de origen edáfico, causadas a las plantas por patógenos tales como hongos, bacterias y varias especies de nemátodos, entre los que destacan las especies de los géneros *Meloidogyne* sp y *Pratylenchus* sp, son causantes de pérdidas económicas significativas en la agricultura de todo el mundo. Los fumigantes químicos esterilizantes y nemátocidas, son los que se han utilizado con mayor frecuencia como métodos de control, siendo, ahora, las alternativas no químicas para la desinfección de suelos basadas en la utilización de materia orgánica, las que se están volviendo cada vez más viables para los productores agrícolas.

En una publicación realizada por Bello, A. (1998), expone que los gases y otros productos provenientes de la biodegradación de las enmiendas orgánicas y residuos agroindustriales son los elementos utilizados como biofumigantes para el control de microorganismos fitopatógenos, contribuyendo también a resolver los problemas ambientales producidos por tales desechos sólidos. Dado la diversidad de materiales vegetales utilizables para realizar tal proceso de desinfección, la técnica de aplicación es sencilla y su coste es relativamente bajo al ser comparado con desinfecciones química, por lo que es una alternativa viable para los países en desarrollo.

En investigaciones recientes, realizadas por Bello, A. (2000), se tienen datos de la eficacia de la técnica, al ser aplicada correctamente en cultivos hortícolas, platanera, cítricos, frutales, viñedos y otros en diferentes ambientes de la región mediterránea, tan satisfactoria que los resultados obtenidos son similares a los pesticidas convencionales, al mismo tiempo que incrementan las poblaciones de los nemátodos saprófagos, mejoran las características del suelo y la nutrición de las plantas, también argumenta la necesidad de

diseñar una metodología para cada situación, diferenciándose de la aplicación de la materia orgánica en la dosis y el método de aplicación.

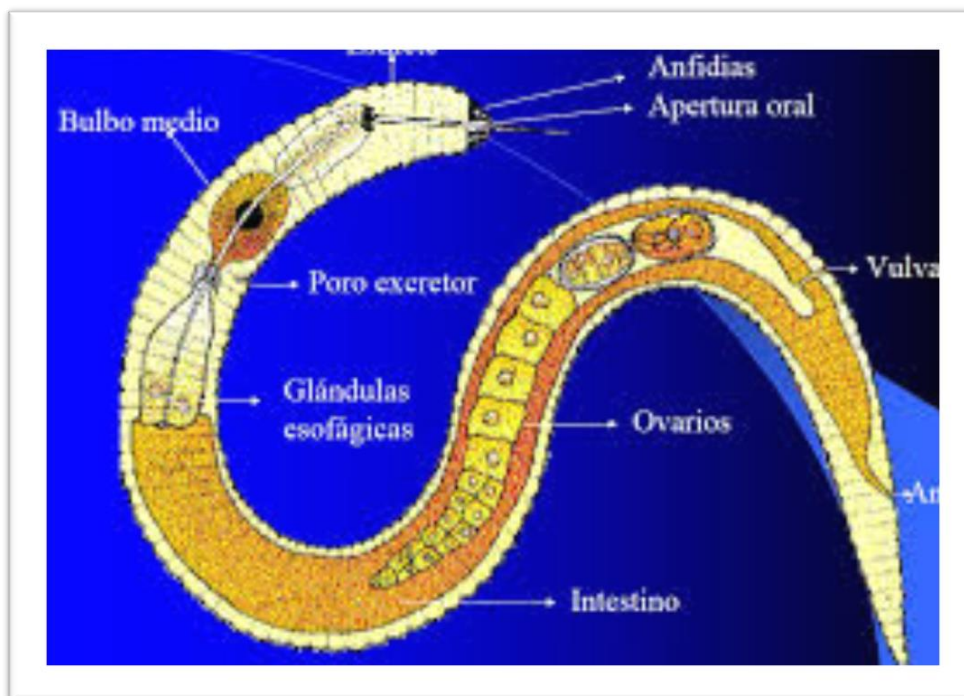
Varios autores, entre ellos Díes-Rojo (2010), enfatiza el valorar cada vez más las alternativas no químicas para la desinfección de suelo, como alternativas al Bromuro de Metilo (BM), quien además considera al BM como una consecuencia de la “Revolución Verde” dado que los problemas de impacto local de los pesticidas se han convertido en un problema global, ya que contribuye de forma notable a la destrucción de la capa de ozono estratosférico, misma que protege a la tierra del daño que causan los rayos del sol al golpear directamente a sus habitantes. La biofumigación está entre las mejores alternativas al BM en cultivos bienales en Guatemala, siendo los resultados similares a la de los pesticidas convencionales (Bello, A. 2003).

## 2.2. Biología de nemátodos fitopatógenos:

Los nemátodos son animales con especies fitopatógenas que causan daños económicos en los sistemas productivos, pero también existen nemátodos saprófagos que colaboran con la descomposición de la materia orgánica, omnívoros e incluso depredadores, o nemátodos parásitos de animales, como los entomopatógenos que parasitan insectos, y pueden utilizarse en control biológico de plagas (Díes-Rojo 2010).

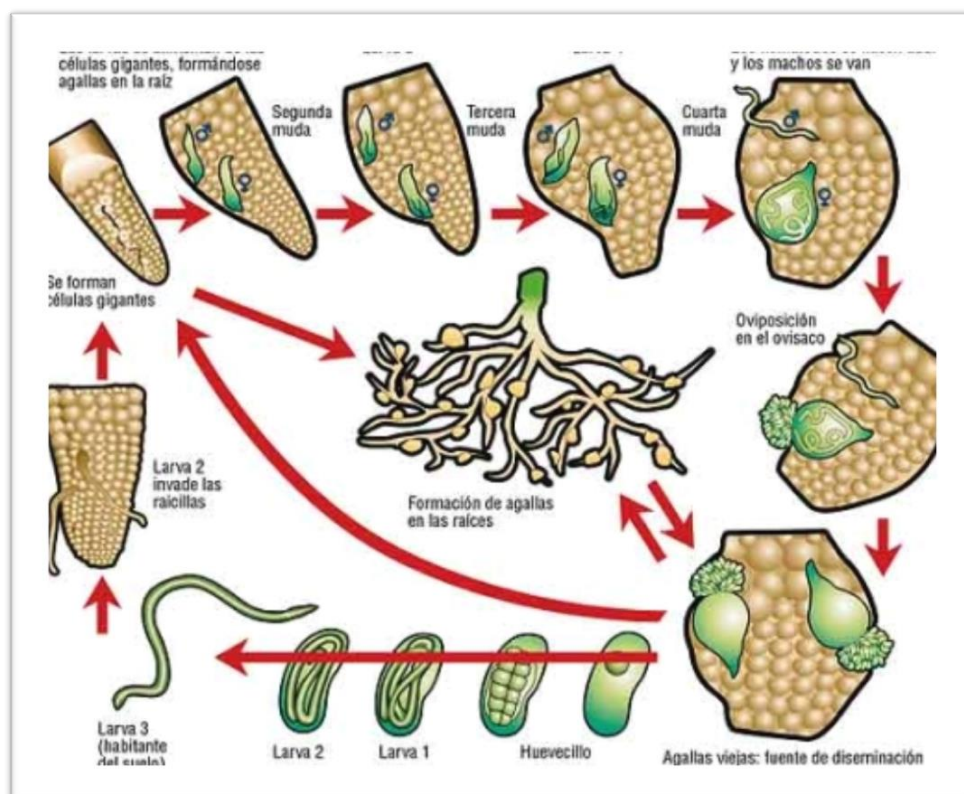
La característica principal de los nemátodos fitopatógenos es que poseen estilete, siendo este un órgano filiforme, con un conducto interno y musculatura que permite que el órgano sea retráctil y se pueda introducir dentro de la raíz y los tejidos de las plantas, para su alimentación. Los fitopatógenos se dividen en dos grupos que son: los ectoparásitos, dentro de estos algunos se alimentan de las células epidérmicas de la raíz y otros de las células internas, con un estilete largo; los endoparásitos se caracterizan por alimentarse de células internas, dentro de estos podemos mencionar a *Meloidogyne* sp, que es un género causante de nódulos y el género *Pratylenchus* sp que es móvil (Díes-Rojo 2010). En la figura uno, se muestra la estructura de un nemátodo fitopatógeno.

“La acción patogénica de algunos organismos se favorece por la interacción de los nemátodos con otros organismos patógenos” Díes-Rojo (2010; 37). La relación que surge entre los nemátodos fitopatógenos y la predisposición a las plantas, por las heridas causadas, para la acción de otros organismos que no parasitarían a las plantas en forma directa, es el mayor daño que causan. “El género *Meloidogyne* presenta los mayores problemas en el manejo de sus poblaciones y para el que mundialmente hasta la fecha se había venido utilizando BM” Díes-Rojo (2010; 38).



**Figura 1.** Características Morfológicas de Nemátodos fitopatógenos.

Fuente: <http://tajtajr.blogspot.com>. Visitado enero 10 del 2016.



**Figura 2.** Ciclo biológico de *Meloidogyne incognita*.

Fuente: <http://nematologiafca.blogspot.com/>. Visitado enero 10 del 2016.

### 2.3. Técnicas no químicas para el control de nemátodos:

Los patógenos del suelo se pueden controlar con diversas técnicas no químicas, entre las que se encuentran: la desinfección con agua caliente, vapor de agua, la solarización, biofumigación, biosolarización, entre otras. La solarización ha sido una alternativa de manejo en las áreas de clima cálido y donde las horas de radiación solar son altas. En épocas pasadas esta técnica se aplicaba en zonas áridas y semiáridas con alta radiación solar y pocas precipitaciones, no obstante en la actualidad se han desarrollado nuevas tecnologías que están extendiendo esta técnica a otras regiones de clima menos árido y con menor radiación solar. La necesidad surge, que al aumentar las temperaturas en la capa arable, los nemátodos se movilizan a suelos profundos, evitando ser afectados. En su publicación Bello, A. (2000), argumenta que el uso de la materia orgánica combinada con solarización y/u otras técnicas, puede incrementar su eficacia.

Para el correcto uso de las alternativas de manejo de nemátodos fitopatógenos, el conocimiento de la interacción con plantas y otros organismos se hace necesario, además del comportamiento ante ciertos elementos químicos. En varias revisiones bibliográficas sobre el manejo de nemátodos fitoparásitos mediante el uso de materia orgánica, se observa que se producen mejoras en la producción. No obstante no se puede diferenciar si la materia orgánica actúa como enmienda o como supresor de las enfermedades. El investigador Díes-Rojo (2010) cita a Stirling, quien observa que el efecto es causado por distintos mecanismos, tales como la liberación de compuestos tóxicos, o bien por el incremento de microorganismos antagonistas.

Como indicadores del límite de tolerancia promedio para cultivos hortícolas, se tiene en 10 nemátodos por cada 100 gramos de suelo y umbral económico de 100 por cada 100 gramos de suelo para el género *Pratylenchus* spp, para el género *Meloidogyne* spp se tiene el límite de tolerancia promedio en 2 nemátodos por cada 100 gramos de suelo y 20 nemátodos por cada 100 gramos de suelo como umbral económico (Talavera 2003).

### 2.4. Materia orgánica y su descomposición en el suelo:

Durante la descomposición de la materia orgánica, gran cantidad de productos químicos son liberados, que pueden actuar en el control de los microorganismos fitopatógenos del suelo. Bello, A (2003), indica que de la descomposición de la materia orgánica, por acción de los mismos microorganismos, se derivan varios productos químicos, que pueden tener acción nematicida, entre los que el amonio ha sido el mejor estudiado, indicando que es difícil afirmar que un solo componente sea responsable de la mortalidad de los nemátodos.

Al utilizar materia orgánica como nematicida, es importante tomar en cuenta la relación C/N del biofumigante, pues de la cantidad de carbono depende la metabolización del nitrógeno por los microorganismos para convertirlo en proteína y otros compuestos, según

cita Bello, A. (2003) a Huebner. Además mencionan, que una relación de C/N 8-20 tiene actividad nematocida sin efecto fitotóxico. Al aplicar la técnica de incorporar material verde, el efecto nematocida tiende a ser limitado a la zona de incorporación, debido a que el amonio tiene una movilidad limitada en el suelo y se dispersa a poca distancia del punto de aplicación, tal como cita Bello, A. (2003) a Eno. El pH del suelo tratado, también tiene efecto sobre el aprovechamiento y movilidad del amonio, pues en suelos ácidos trabaja mejor el amonio que en suelos alcalinos (Díes-Rojo 2010).

## 2.5. Biofumigación como nematocida:

El material protéico y quitinolítico son enzimas de interés en el estudio de los nemátodos, dado que son los principales elementos que contienen en la estructura de la cubierta del huevo y adultos. Las bacterias que trabajan en la descomposición de la materia orgánica, tienen la virtud de producir quitinasa, enzima que tiene la capacidad de destruir la pared externa de los nemátodos adultos y en etapa de huevecillos. Bello, A. (2003), cita a Culbreanth, quien demostró el efecto nematocida de la quitina cuando se aplica en la proporción del 1%, indicando que su acción se debe principalmente a la producción de amonio durante el proceso de descomposición. Gran parte del ácido acético y glucosamina, que libera amonio, provienen del nitrógeno hidrolizado que contiene la quitina de los microorganismos.

En las evaluaciones realizadas por Díes-Rojo (2010), determinó que todos los materiales orgánicos ensayados como biofumigantes tiene un potencial alto para reducir las poblaciones de nemátodos fitopatógenos, también indica que puede aumentar su eficacia al combinarla con la solarización, no obstante los nemátodos de vida libre no fueron afectados, más bien, algunos géneros se vieron favorecidos por la adición de materia orgánica. Además, Bello, A. (2003) citó a Canullo, quien obtuvo resultados positivos al evaluar materiales con alto contenido en nitrógeno que generan amoníaco que actúa como un nematocida en el suelo.

Varios evaluadores recalcan en el uso adecuado de los biofumigante, dado que el uso inadecuado puede desencadenar acumulación de compuestos perjudiciales y aumentar el nivel de inóculo de algunos patógenos edáficos, es por ello, que deben realizarse evaluaciones científicas de todos los materiales a utilizar en un sistema de producción cultivos.

La eliminación de patógenos en el suelo por la biofumigación, se debe a las temperaturas que superan los 67 °C durante algunos días, según Hoitink citado por Bello, A. (2003), además de causar fitotoxicidad debido a la producción de ácidos orgánicos volátiles como ácido acético, amonio y otros compuestos tóxicos para los microorganismos, mencionados con anterioridad.



## 2.6. Brócoli como material biofumigante:

Residuos de *Brassica oleracea* var. *italica*, es el material biofumigante evaluado en la presente investigación, por lo cual a continuación se describe su mecanismo de acción: el brócoli contiene glucosinolatos aproximadamente en 1 a 2%, también llamados heterósidos sulfocianogénicos azufrados, son en su mayoría glucósidos, mismos que contienen azufre, siendo los aminoácidos sus precursores, por lo cual tiene diferentes estructuras químicas. En las vacuolas de las células de la planta de brócoli se localizan los glucosinolatos y pueden ser hidrolizados en la misma planta por enzimas que se localizan en el citoplasma de las células; las enzimas que hidrolizan a los glucosinolatos son las mirosinasas (tioglucosidasas) que al ejercer su acción enzimática, dan como producto resultante los isotiocianatos volátiles denominados sevenoles (Calderón, LF. et al. 2000).

Los nemátodos se ven afectados por los isotiocianatos que son los gases liberados dentro del suelo. Los isotiocianatos inactivan el grupo –SH-1 (sulfhídrico) de las enzimas de los patógenos, lo cual causa la desnaturalización de las proteínas y enzimas de las células del patógeno (Calderón, LF. et al. 2000).

Atendiendo a las instrucciones descritas por Al-Kabit, citado por Bello, A. (2003) para la incorporación de los residuos de brócoli al suelo, debe realizarse a la inmediatez posible luego de ser cosechado, puesto que al momento del triturado se inicia la serie de reacciones que forman a los isotiocianatos, continuando dentro del suelo al ser degradado en su totalidad por los microorganismos. Además, recomienda que el triturado se realice en el lugar donde se hará la biofumigación.

## 2.7. Experiencias con biofumigación en Guatemala:

El control de nemátodos fitopatógenos se evaluó en el cultivo de zanahoria, utilizando como material biofumigante residuos de brócoli y gallinaza, más un testigo absoluto. Los resultados obtenidos fueron: de los biofumigantes aplicados al suelo el que mejor acción nematicida ejerció fue el de 5 kg/m<sup>2</sup> de gallinaza, ya que logró reducir las poblaciones de *Meloidogyne* sp durante las cinco semanas que duró el tratamiento a 0 durante los primeros 60 días después de la siembra de zanahoria, presentando una población promedio total durante el ciclo del cultivo de 225 nemátodos por 100 cc de suelo, por lo que se obtuvo únicamente un 12% de raíces con daño por nemátodos. Con testigo (sin biofumigación) la población presentó un 80% de raíces con daño por nemátodos y en los tratamientos biofumigantes 67%, y 73% de raíces con daño por nemátodos (Flores Mendoza, RA. 2003).

Calderón (1999) señala que, el ICTA ha realizado estudios de biofumigación, utilizando gallinaza como fuente de materia orgánica en el departamento de Zacapa con tabaco y melón y en el departamento de Chimaltenango en los cultivos de tomate y brócoli. La

hernia de las coles se redujo en el brócoli, producida por el hongo *Plasmodiophora brassicae* en suelos infestados, así como también el control de otros patógenos. Los rendimientos se vieron favorecidos en el cultivo de melón y semilleros de tabaco dado el control de plagas del suelo, también mejorando el desarrollo vegetativo de las plantas.

El efecto biofumigante de diferentes materias orgánicas y la combinación del material al efecto del solarizado se evaluaron en cultivo de brócoli, utilizando 5 kg (11 lb.) de materia orgánica por metro cuadrado, siendo los tratamientos: el testigo absoluto, residuos de brócoli, estiércol de ganado vacuno, gallinaza pura y el manejo tradicional. Los resultados indicaron que con el uso de la biofumigación, los nemátodos de los géneros *Rabditis*, *Pratylenchus*, *Aphelenchus* se incrementan con las adiciones de materia orgánica. La disponibilidad de Fósforo (P), Cobre (Cu), Hierro (Fe) y potasio (K) mejora juntamente con el porcentaje de materia orgánica del suelo (Hernández-Chea, RE. 2002).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

##### 3.1.1. Ubicación geográfica.

El estudio se realizó en los campos experimentales de Vista Volcanes, Sociedad Anónima, ubicada a 51.8 kilómetros al oeste de la ciudad capital de Guatemala, sobre la ruta Interamericana (Ca. 1), en las coordenadas geográficas latitud 14° 38'45.3" norte y longitud 90° 48'02.8" oeste. La dirección fiscal es: 18 avenida 3-104 La Alameda, zona 5 Chimaltenango.

##### 3.1.2. Características físico-biológicas

Los registros de Vista Volcanes, S.A. apuntan temperaturas anuales máximas de 34 °C y mínimas de 12 °C, con una altura de 1756 m.s.n.m. ( $\pm$  6m) y una precipitación pluvial promedio de 1587.7 mm ubicada en la zona de vida denominada Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical (bh – MB) y un Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical (Bmb – MB) (Holdrige 1978) (27). El requerimiento hídrico es abastecido por dos pozos artesanales, ubicados dentro de la misma finca.

Tomando como referencia el Estudio Semi-detallado de los suelos del departamento de Chimaltenango 2010, la finca Vista volcanes S.A. se encuentra dentro del municipio de Chimaltenango y caserío La Alameda, mismo lugar que pertenecen al grupo de suelos denominados (consociados) El Tejar (Orden Molisol): Typic Haplustolls, familia francosa fina, mezclada, activa, isotérmica; Perfil Modal 041602; símbolo AQA. (MAGA, 2010;37).

La connotación tiene una extensión total de 3,504 hectáreas y presenta las siguientes fases:

1. AQAa1: fase por pendiente ligeramente plana (0-3%), erosión ligera (2,055 ha).
2. AQAa1: fase por pendiente ligeramente inclinada (3-7%), erosión ligera (1,449 ha).

#### Cuadro 1. Características de la connotación El Tejar.

Profundidad	Granulometría %			Clase textural	Gravila*	pH	C.O.	M.O.	N. Total	CaCO3	Fósforo	Fertilidad**		
	Arenas	Limos	Arcillas		%	1:1	%	%	%	%	%	Ppm	Valor	Calific.
0 – 16	54.41	28.36	17.23	F		6.0	0.90	1.71				6.42	6.60	Media
16 – 38	48.51	30.14	21.35	F		6.2	0.48	0.91				ND		
38 – 100	47.88	32.35	19.07	F		6.5	0.30	0.57				3.79		

Fuente: (MAGA 2010).

## 3.2. METODOLOGÍA

### 3.2.1. Descripción de la investigación:

Se evaluaron cuatro tratamientos de *Brassica oleracea* var. Italica para el control de nemátodos fitopatógenos en cultivos hortícolas con enfoque orgánico más un testigo absoluto, al cual no se le añadió producto químico u orgánico alguno. Utilizando un modelo estadístico de Bloques al Azar, las unidades experimentales se distribuyeron en los bloques y repeticiones dentro de la “casa malla”, siendo para ambas temporadas las estructuras de similares características estructurales y condiciones de microclima.

La incorporación del material biofumigante se realizó en suelo mullido y húmedo dejando cubiertos los tabloncillos por seis semanas para que las sustancias volátiles liberadas en el proceso de biodegradación, realizaran su efecto biocida. Culminado el tiempo preestablecido en ambas temporadas, se extrajeron muestras de suelo, se realizaron los análisis de interés y los datos obtenidos se analizaron comparando las poblaciones iniciales con las finales, para establecer la eficacia de los tratamientos.

### 3.2.2. Diseño experimental:

El diseño experimental que se utilizó es el de Bloques al Azar, con cuatro repeticiones y cinco tratamientos (incluyendo el testigo), lo que hace un total de 20 unidades experimentales por temporada para un total de cuarenta unidades experimentales en las dos temporadas. Se utilizó este diseño a fin de minimizar alguna influencia en las características fisicoquímicas del suelo, dado que la toxicidad de las sustancias volátiles también se ven influenciadas por el pH y tipo de suelo, entre otras. El hecho de que exista separación de sesenta centímetros entre cada tablón, evita la movilización de los gases de una unidad experimental hacia la contigua.

### 3.2.3. Descripción de los tratamientos:

Se evaluaron cuatro dosis de residuos de brócoli, las cuales fueron de 1, 2, 3 y 4 kilogramos por metro cuadrado neto tratado. El testigo sin material biofumigante sirvió para comprobar la existencia final de nemátodos. Los tratamientos recibieron la codificación T para indicar el tratamiento y el número de Kilogramos aplicados (de 0 a 4), con lo que se identificaron cuatro repeticiones con las cinco codificaciones siguientes: T0, T1, T2, T3 y T4.

### 3.2.4. Modelo matemático:

El modelo estadístico que sirvió de base para efectuar los análisis de varianza de las variables evaluadas es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + B_j + \epsilon_{ij}$$

$\mu$  = Media general

$\tau_i$  = Efecto del  $i$  – esimo tratamiento

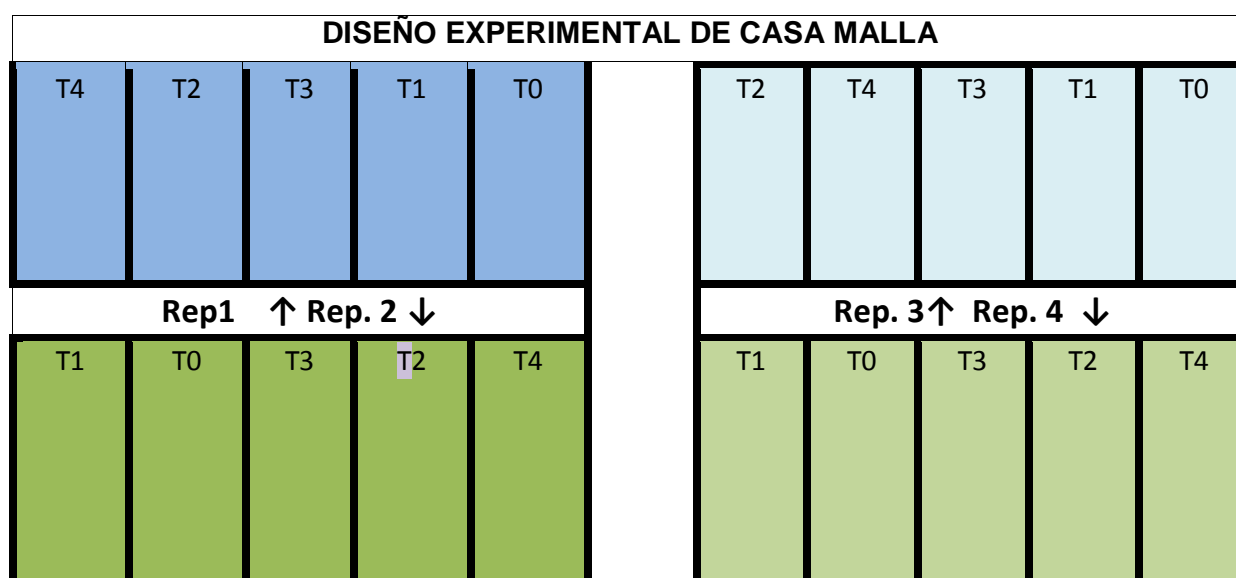
$B_j$  = Efecto del  $j$  – esimo bloque

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental en la unidad  $j$  del tratamiento  $i$ .

### 3.2.5. Croquis del ensayo en campo:

Para establecer las parcelas experimentales, se utilizó el arreglo que se observa en el cuadro 2.

**Cuadro 2.** Diagrama de distribución de tratamientos y repeticiones.



Fuente: Elaboración propia, marzo 2013.

### 3.2.6. Unidad experimental:

Cada unidad experimental tuvo un área tratada (área neta) de 27.5 metros cuadrados (5 tabloncillos de 0.5 metros de ancho por 11 de largo), con separación entre tabloncillos de 0.6 metros, lo que hace un total de área (área bruta) por unidad experimental de 53.9 metros cuadrados. El total de área utilizada por temporada fue de 1078 metros cuadrados.

### 3.2.7. Variables de respuesta:

Las variables de respuesta son: Población final de nemátodos y Eficacia, las cuales se describen a continuación.

1. Población final de nemátodos: se determinó el efecto de los tratamientos a través de los niveles de población de nemátodos por 100 gramos de suelo encontrados al final de cada una de las temporadas del experimento. Los datos de población final se sometieron a análisis de varianza y al encontrar significancia estadística se discriminaron valores promedio mediante la prueba de Tukey considerando como tratamientos de mejor efecto aquellos que presentan niveles más bajos de población.
2. Eficacia: se determinó mediante la fórmula de Abbott para cada uno de los géneros de nemátodos encontrados en cada fase del experimento. Se hizo solo para datos promedio de población, razón por la cual no fue sujeto a análisis de varianza y se consideró como mejor tratamiento aquel que manifestó un mayor porcentaje de eficacia. De esta variable se hicieron representaciones gráficas de los datos promedio calculados.

La descripción de los métodos de análisis utilizados se presenta en el inciso 3.2.9.

#### 3.2.8. Manejo agronómico de la investigación:

El presente trabajo de investigación se realizó con enfoque orgánico, aprovechando las áreas cultivadas con hortalizas diversas y manejadas con insumos orgánicos en los últimos doce años.

Ambas áreas cubiertas con sistema de protección agrícola tipo “casa malla” que, para la primera temporada fue construida sesenta días antes de establecer el experimento; la casa malla de la segunda temporada llevaba un año de vida útil de los siete que se estima utilizar. La estructura de las construcciones está conformada con hierro galvanizado. La cubierta es de malla plástica conformada por 200 hilos para la posición denominada longitud y 100 hilos la posición llamada ancho por cada 10 centímetros cuadrados, siendo entonces el paso de luz e ingreso de viento del 90% permitiendo el paso del 100% del agua de lluvia.

Con respecto al manejo del agua de riego, las casas malla cuentan con sistema de riego por goteo; el sistema está compuesto por un tanque de abastecimiento (tanques independientes) de mil litros cúbicos de capacidad, tubería de conducción y distribución de dos pulgadas de diámetro, filtro de anillos de 120 mesh con entrada y salida de dos pulgadas de diámetro, cinta de goteo con goteros individuales espaciados a cada veinte centímetros y capacidad de descarga de dos litros y medio cuando la presión del sistema se establece a un bar.

En ambas temporadas, los tabloncillos fueron formados y humedecido el suelo quince días previo a establecer los ensayos. El día que se implementaron los ensayos en campo experimental, se tomaron muestras de suelo para realizar el análisis nematológico.

Los residuos de *Brassica oleracea* var. Italica fueron adquiridos de una misma finca certificada por certificadora que avalan las exportaciones a Europa (Global Gap). En ambas temporadas los residuos se tomaron de la misma finca y se extrajeron directamente del área de cultivo, cortando la planta completa para aprovechar el tallo, las hojas y la pella de las que no calificaron para exportación por diversas razones fenológicas o de madurez fisiológica.

Al cosechar las plantas de brócoli, fueron trasladadas inmediatamente al área objetivo, trituradas en pequeños trozos de aproximadamente cinco centímetros, pesadas las dosis establecidas (1kg/m<sup>2</sup>, 2kg/m<sup>2</sup>, 3kg/m<sup>2</sup> y 4kg/m<sup>2</sup>), se procedió a distribuir e incorporar en cada unidad experimental, de acuerdo al diagrama de distribución de tratamientos preestablecido para ambas temporadas.

El proceso de incorporación en los ensayos consistió en: distribuir uniformemente la totalidad del biofumigante sobre los cinco tabloncillos de 5.5 metros cuadrados que componen cada unidad experimental (once metros de largo por cincuenta centímetros de ancho) e incorporar con aperos (azadones) los residuos de brócoli en el suelo previamente humedecido.

La cinta de riego fue reinstalada sobre las camas formadas con el suelo tratado e inmediatamente se colocó la película plástica (mulch) sobre los tabloncillos en mención.

Durante el tiempo que duraron los ensayos, se realizaron quince pulsaciones de riegos por temporada, que mantuvieron la humedad del suelo en el rango de punto de marchitez y capacidad de campo, para lo cual fue necesario regar con frecuencia de riego de tres días y tiempo de riego de diez minutos.

El manejo que se le dio al tratamiento testigo y sus repeticiones sin biofumigar, no difiere con el manejo de las otras unidades experimentales, únicamente en la dosis de biofumigante aplicado. Las dosis y cantidad del biofumigante aplicado se presentan en el cuadro 3.

**Cuadro 3.** Cantidad de biofumigante aplicado.

<b>Material Biofumigante</b>				
DOSIS MATERIA VERDE	ÁREA/TRAMO	MATERIA POR SURCO	POR TRAMO	TOTAL/UNIDAD EXPERIMENTAL
1 KG.	5,5 m <sup>2</sup>	5.5 KG.	27.5 KG.	115 KG.
2 KG.	5,5 m <sup>2</sup>	11 KG.	55 KG.	230 KG.

3 KG.	5,5 m <sup>2</sup>	16.5 KG.	82.5 KG.	345 KG.
4 KG.	5,5 m <sup>2</sup>	22 KG.	110 KG.	460 KG.

Fuente: Elaboración propia, marzo 2013.

Pasadas las seis semanas (cuarenta y cinco días) se tomaron muestras de cada tratamiento y repetición para enviarlas al laboratorio en donde se realizaron los análisis nematológicos respectivos. Los datos obtenidos se presentan en el capítulo siguiente.

### 3.2.9. Análisis de la información:

Con respecto al análisis de varianza tipo III utilizado, se argumenta que: cabe la probabilidad de que algunas de las unidades experimentales no sean homogéneas, es decir, algunas tengan características diferentes a las demás. Por tal razón y para eficientar el experimento las unidades experimentales se agruparon por su homogeneidad y a esos grupos se les aplicaron los tratamientos. Así se evaluó también el impacto del grupo de unidades llamado bloque.

La varianza total se separó en tres varianzas, la de tratamientos, la de bloques y la del error.

Las unidades experimentales se agruparon en B bloques. Se definieron los T tratamientos que se aplicaron a las n unidades experimentales. Las unidades experimentales de cada bloque se sortearon para la asignación a cada tratamiento.

Dado los resultados (p-valor) obtenidos, que indican que existe diferencia estadísticamente significativa, se sometieron a prueba de medias, para lo cual se utilizó la prueba de medias de Tukey.

Para calcular los porcentajes corregidos, se utilizó la fórmula de Abbott, los elementos y la fórmula correcta es: (Abbott, W.S; 1925).

$$\text{Corrected \%} = \left( 1 - \frac{n \text{ in T after treatment}}{n \text{ in Co after treatment}} \right) * 100$$

Donde : n = Insect population , T = treated , Co = control

En ambas temporadas se tomaron muestras de suelo previo a realizar la biofumigación y enviadas al laboratorio para los análisis correspondientes. Posterior a las seis semanas de la fase de campo, se tomó una muestra por cada tratamiento y una por cada repetición, mismas que se prepararon de 5 sub-muestras, se enviaron al laboratorio para los análisis nematológicos, el total de muestras por temporada fueron veinte.



Para la extracción de nemátodos se utilizó los métodos de centrifugación-flotación y el método del embudo de Baerman. En el método de centrifugación-flotación, por diferencia de densidades se consiguió que los nemátodos quedaran suspendidos en la solución de mayor densidad, que en este caso se usó agua azucarada a una concentración de 454 g / litro de azúcar, separándolos de partículas de suelo, tejido vegetal y otras impurezas, después de la centrifugación. En el método del embudo de Baerman se consiguió extraer a los nemátodos exponiendo el suelo en estudio, en contacto con agua y estos buscando el lugar de mayor humedad cayeron así al fondo del embudo.

Dado las diferentes características fenotípicas de los nemátodos, los métodos de extracción presentan diferencia en cuanto a eficacia para la extracción de los distintos géneros. Por tal razón, el método de centrifugación-flotación se utilizó para la extracción del género *Meloidogyne* spp y el embudo de Baerman para la extracción del género *Pratylenchus* spp. No obstante, es importante mencionar que al utilizar el método de centrifugación-flotación, los nemátodos del género *Meloidogyne* spp (hembras maduras) se atrapan en el tamiz 60 y los del género *Pratylenchus* spp es posible observarlos en el tamiz 200.

Los resultados obtenidos fueron analizados y se describen en el ítem 4.

#### 3.2.10. Recursos:

Los recursos utilizados en el desarrollo de la investigación se presentan el en cuadro 4. Además se realizó un estimado de costos que representa cada uno de estos recursos.

**Cuadro 4.** Recursos y costos del experimento.

RECURSOS	Temporada 1	Temporada 2
<b>Recurso físico</b>	<b>4.680,00</b>	<b>4.680,00</b>
Renta área del ensayo	300,00	300,00
Devaluación de estructura de protección	1.000,00	1.000,00
Devaluación sistema de riego	300,00	300,00
Devaluación de áperos	300,00	300,00
Material biodesinfectante	1.000,00	1.000,00
Plástico (mulch)	500,00	500,00
Vehículo de transporte	500,00	500,00
Otros	780,00	780,00
<b>Recurso humano</b>	<b>16.600,00</b>	<b>16.600,00</b>
Preparación de suelo	2.000,00	2.000,00
Manejo del experimento	9.500,00	9.500,00
Recolección de muestras	1.000,00	1.000,00
Análisis de laboratorio	4.100,00	4.100,00

<b>Total costos por temporada</b>	<b>21.280,00</b>	<b>21.280,00</b>
<b>Total costos del experimento</b>	<b>42.560,00</b>	

Fuente: Elaboración propia. Trabajo de gabinete 2015.

#### 4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El cuadro 5 muestra los resultados del análisis nematológico realizado a cada una de las muestras tomadas en los diferentes tratamientos y repeticiones del ensayo, mismos que están dados en número de nemátodos por 100 gramos de suelo.

**Cuadro 5:** Resultado nematológico.

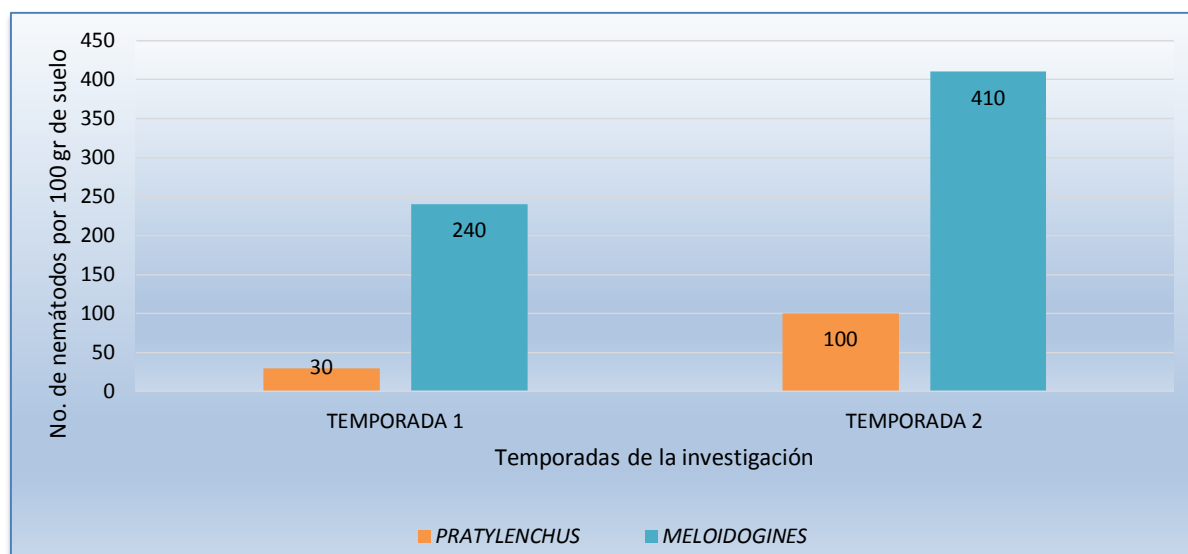
TRATAMIENTO EN KILOGRAMOS DE BRÓCOLI POR METRO CUADRADO		Géneros de nemátodos por 100 gr de suelo.									
		REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 2		REPETICIÓN 3		REPETICIÓN N 4		PROMEDIO	
		<i>Pratylenchus</i> spp	<i>Meloidogyne</i> spp	<i>Pratylenchus</i> spp	<i>Meloidogyne</i> spp	<i>Pratylenchus</i> spp	<i>Meloidogyne</i> spp	<i>Pratylenchus</i> spp	<i>Meloidogyne</i> spp	<i>Pratylenchus</i> spp	<i>Meloidogyne</i> spp
TEMPORADA 1	PRE-BIOFUMIGACIÓN	30	240	30	240	30	240	30	240	30	240
	T0= 0 kg/m <sup>2</sup>	40	250	50	230	50	200	50	280	47.5	240
	T1= 1 kg/m <sup>2</sup>	40	240	40	260	45	200	45	280	42.5	245
	T2 = 2 kg/m <sup>2</sup>	30	115	40	200	20	115	20	60	27.5	122.5
	T3 = 3 kg/m <sup>2</sup>	0	25	10	30	0	0	0	40	2.5	23.75
	T4 = 4 kg/m <sup>2</sup>	0	25	5	40	0	15	0	30	1.25	27.5
TEMPORADA 2	PRE-BIOFUMIGACIÓN	100	410	100	410	100	410	100	410	100	410
	T0= 0 kg/m <sup>2</sup>	110	420	90	400	125	450	115	420	97.5	422.5
	T1= 1 kg/m <sup>2</sup>	120	440	150	450	130	450	110	445	127.5	446.2
	T2 = 2 kg/m <sup>2</sup>	60	100	80	160	100	150	50	190	72.5	150
	T3 = 3 kg/m <sup>2</sup>	10	80	15	60	5	50	0	85	7.5	68.75
	T4 = 4 kg/m <sup>2</sup>	5	15	10	50	10	80	5	95	7.5	60

Fuente: Elaboración propia. Trabajo de campo, Chimaltenango, mayo 2013 a mayo 2014.

Las muestras de suelo tomadas previo al ensayo, fueron enviadas al laboratorio, según el análisis nematológico se reportaron dos géneros fitoparasíticos, siendo estos *Pratylenchus* spp con 30 y 100 nemátodos para las temporadas uno y dos respectivamente y *Meloidogyne* spp con 240 y 410 nemátodos por 100 gramos de suelo para las temporadas

uno y dos respectivamente; la figura 3 muestra el número de las poblaciones iniciales de nemátodos por género y por temporada.

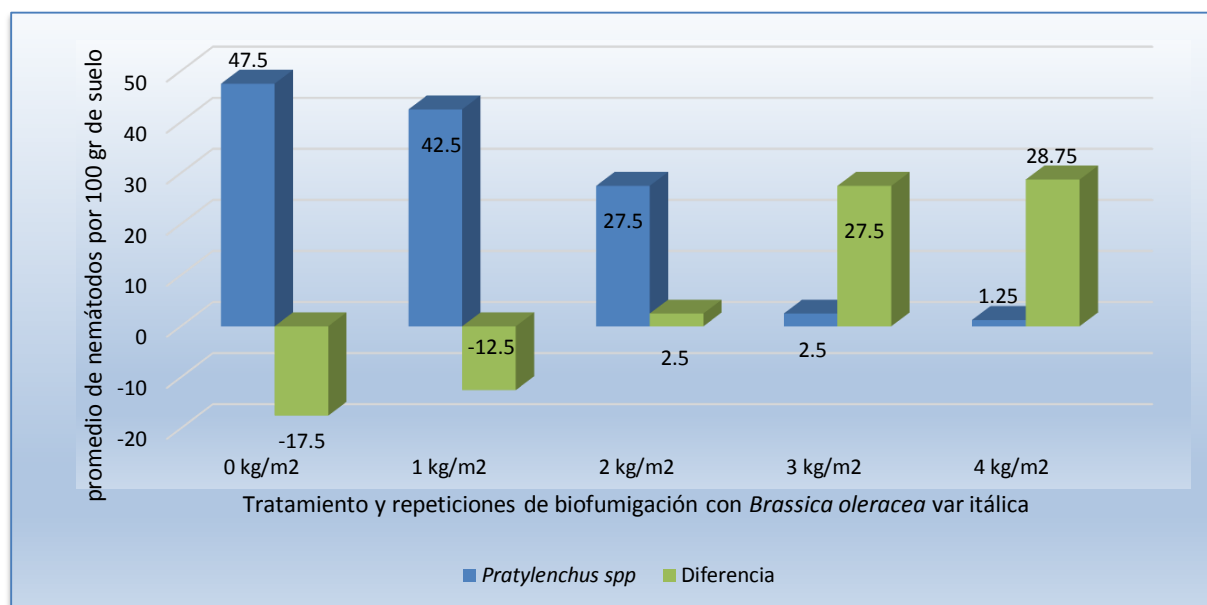
El área donde se estableció el ensayo ha sido cultivada y manejadas orgánicamente en los últimos doce años con hortalizas bienales, mismo tiempo que llevaban las parcelas sin desinfección alguna. Al tomar como base los límites de tolerancia y umbral económico, se determinó la alta infestación de nemátodos fitopatógenos que tenía la parcela objetivo.



**Figura 3.** Población inicial de nemátodos fitopatógenos por 100 gramos de suelo.

#### 4.1. Efecto de tratamientos sobre población final de *Pratylenchus* spp.

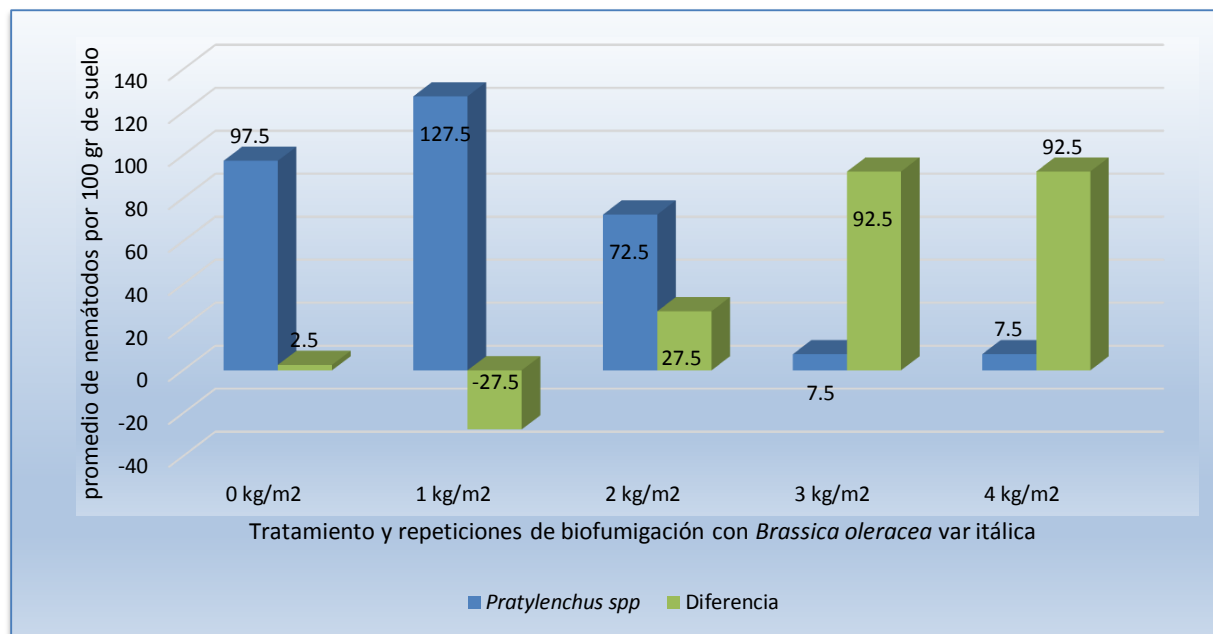
La población inicial en la temporada uno fue de 30 nemátodos del género *Pratylenchus* spp por cada 100 gramos de suelo, según los resultados obtenidos en el laboratorio. Al aplicar los tratamientos de 4 kg/m<sup>2</sup> 3 kg/m<sup>2</sup> y 2 kg/m<sup>2</sup>, disminuyó la población, en promedio, a 1,3 y 28 nemátodos por tratamiento respectivamente. No obstante, el tratamiento con 1 kg/m<sup>2</sup> y el testigo absoluto (0 kg/m<sup>2</sup>), incrementaron la población en 13 y 18 nemátodos por cada 100 gramos de suelo; la figura 4 muestra el promedio de la población final de nemátodos encontrados en las muestras de suelo.



**Figura 4.** Control de *Pratylenchus* spp vrs población inicial, temporada 1.

Los escritos de toxicología apuntan que: la acción tóxica depende de la concentración del fumigante, de la temperatura y aumenta con su incremento, del tiempo de exposición y por tanto del factor concentración-tiempo. Por tal razón se tiene que a mayor cantidad de material biofumigante aplicado, la población de nemátodos fitopatógenos disminuye en mayor número.

La población inicial para la segunda temporada, según el análisis realizado a las muestras de suelo tomada en campo y analizadas en laboratorio, fue de 100 nemátodos del género *Pratylenchus* spp por 100 gramos de suelo. Al aplicar biofumigante a dosis de 4 kg/m<sup>2</sup> y 3 kg/m<sup>2</sup>, el nivel de la población disminuyó a 8 nemátodos por 100 gramos de suelo en ambos tratamientos. El tratamiento con 2 kg/m<sup>2</sup> de biofumigante disminuyó la población a 73 nemátodos. Al aplicar 1 kg/m<sup>2</sup> se incrementó la población en 28 nemátodos por cada 100 gramos de suelo, sobre la población inicial. El testigo absoluto disminuyó la población a 98 nemátodos; la figura 5 muestra gráficamente tales diferencias.



**Figura 5.** Control de *Pratylenchus* spp vrs población inicial, temporada 2.

Por la facultad de permanecer dentro de raíces en época de escasa humedad, el género *Pratylenchus* spp puede no sufrir daño al aplicar algún nematicida con efecto de corta duración; la humedad a capacidad de campo durante el proceso de biofumigación, brinda las condiciones adecuadas para activar a los microorganismos, aumentando la probabilidad de ser afectados por las sustancias liberadas en el proceso de biodegradación.

#### 4.1.1. Análisis estadístico de población final de *Pratylenchus* spp.

**Cuadro 6.** Análisis de varianza al 95% de significancia para *Pratylenchus* spp.

TEMPORADA	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
1,00	NEMATODOS	20	0,96	0,94	21,13

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7698,75	7	1099,82	41,90	<0,0001
Bloque	153,75	3	51,25	1,95	0,1751
Dosis	7545,00	4	1886,25	71,86	<0,0001
Error	315,00	12	26,25		
Total	8013,75	19			

TEMPORADA	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
-----------	----------	---	----------------	-------------------	----

2,00 NEMATODOS 20 0,96 0,94 20,74  
**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	51370,00	7	7338,57	40,40	<0,0001
Bloque	970,00	3	323,33	1,78	0,2045
Dosis	50400,00	4	12600,00	69,36	<0,0001
Error	2180,00	12	181,67		
Total	53550,00	19			

Fuente: Elaboración propia. Trabajo de gabinete, Chimaltenango, mayo 2015.

De acuerdo al análisis de varianza se determinó que existe diferencia estadística significativa al 95% de confianza entre los tratamientos, lo que significa que al menos uno de los tratamientos ofrece mejor control que los demás, por lo cual se procedió a realizar la prueba múltiple de Tukey, presentada en el cuadro 7.

Tomando en consideración que las sustancias volátiles de la biodegradación del material incorporado son las utilizadas para el control de nemátodos, se respalda el hecho de que a mayor cantidad de biofumigante mayor es la cantidad de sustancias volátiles liberadas para causar una toxicidad efectiva, lo cual soporta el hecho de que exista diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos.

**Cuadro 7.** Prueba de medias de Tukey al 95% de probabilidad, para *Pratylenchus* spp.

#### Temporada 1

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=11,54757**

Error: 26,2500 gl: 12

DOSIS	Medias	n	E.E.	
T4	1,25	4	2,56	A
T3	2,50	4	2,56	A
T2	27,50	4	2,56	B
T1	42,50	4	2,56	C
T0	47,50	4	2,56	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

#### Temporada 2

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=30,37831**

Error: 181,6667 gl: 12

DOSIS	Medias	n	E.E.	
T4	7,50	4	6,74	A
T3	7,50	4	6,74	A
T2	72,50	4	6,74	B
T1	110,00	4	6,74	C
T0	127,50	4	6,74	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fuente: Elaboración propia. Trabajo de gabinete, Chimaltenango, mayo 2015.

El efecto de los tratamientos sobre los niveles de población final de nemátodos para cada una de las temporadas del experimento, por medio de la prueba de medias de Tukey con un 95% de confianza, separó tres grupos estadísticamente diferentes, para ambas temporadas. El primero identificado con la literal A, presenta el valor de medias de control más alto con 95.83% y 93.68% en promedio para la primera y segunda temporada respectivamente, que corresponden a los tratamientos con 4 kg/m<sup>2</sup> y 3 kg/m<sup>2</sup> de residuos de brócoli.

El grupo representado por la literal B pertenece al tratamiento 2 que corresponde a la aplicación de 2 kg/m<sup>2</sup> de residuos de brócoli. Estadísticamente tiene diferencia significativa con los tratamientos 0 y 1 como también con 3 y 4, controlando al género *Pratylenchus* spp en 38.89% y 39% en promedio para la primera y segunda temporada respectivamente.

El último grupo se identifica con la literal C y lo conforma los tratamientos 0 y 1 que corresponden a 0 kg/m<sup>2</sup> y 1 kg/m<sup>2</sup> de material biofumigante respectivamente, entre los cuales no hay significancia estadística pero si con resultados negativos, incrementando la infestación de nemátodos del género *Pratylenchus* spp en 31,15% en promedio.

La alta capacidad de metilación de los compuestos liberados en el proceso de descomposición de la materia orgánica, propicia la plasmólisis en los nemátodos, sumado a otras reacciones químicas y fenómenos biológicos que condicionan el número en las poblaciones; Con tal principio podemos explicar el efecto de control obtenido en ambas temporadas al aplicar dosis de 3 kg/m<sup>2</sup> y 4 kg/m<sup>2</sup>, como también el incremento de las poblaciones al aplicar dosis igual o menores a 2 kg/m<sup>2</sup>.

#### 4.2. Eficacia de tratamientos sobre el género *Pratylenchus* spp.

Con respecto a la población inicial de nemátodos fitopatógenos del género *Pratylenchus* spp, para la temporada uno, el tratamiento con 4 kg/m<sup>2</sup> de residuos de brócoli resultó ser el de mayor porcentaje de eficacia, dado que disminuyó la población en 95.8%; el tratamiento con 3 kg/m<sup>2</sup> disminuyó la población en 91.6% y, 2 kg/m<sup>2</sup> redujo la población en 8.3%; el tratamiento con 1 kg/m<sup>2</sup> y el testigo sin material biofumigante incrementaron la población de *Pratylenchus* spp en 41.6% y 58% respectivamente.

En la temporada dos, luego de seis semanas de tratamiento, se obtuvo una similitud del 92% en el control de la población de nemátodos del género *Pratylenchus* spp en los tratamientos con 4 kg/m<sup>2</sup> y 3 kg/m<sup>2</sup> de residuos de *Brassica oleracea* var itálica, en 27% disminuyó la población al aplicar 2 kg/m<sup>2</sup> de brócoli, incrementó en 28% al tratar las parcelas con 1 kg/m<sup>2</sup> del material biofumigante y en 2% se incrementó la infestación en el tratamiento testigo.

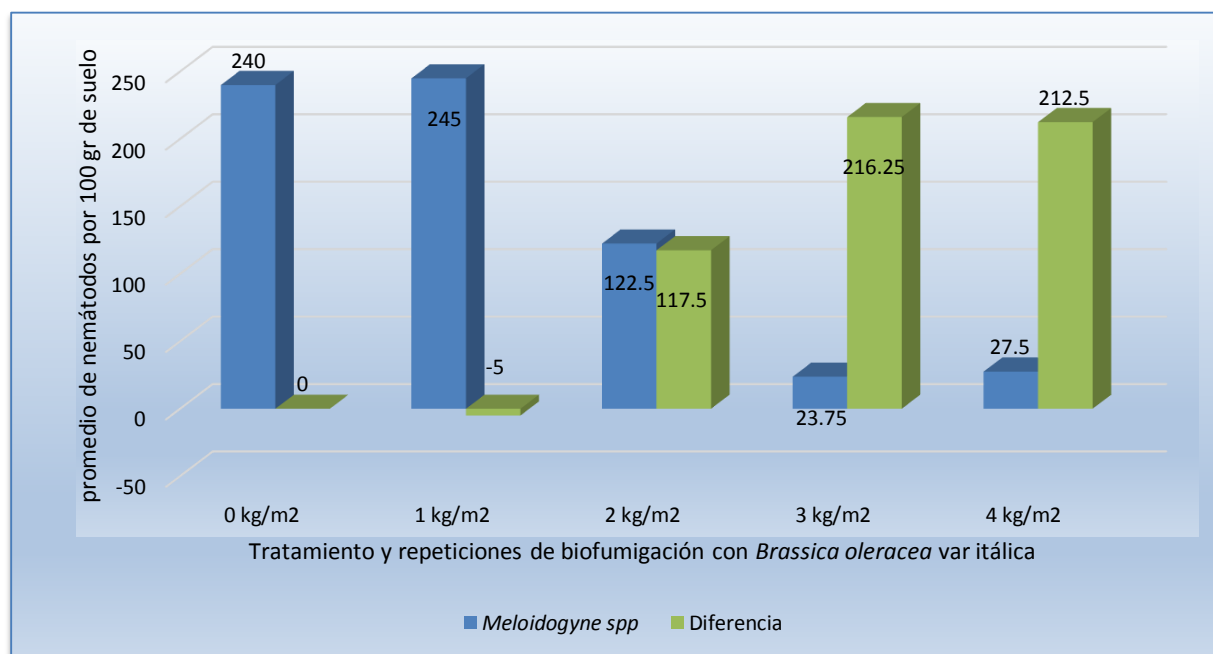
Durante el proceso de descomposición, los vegetales liberan cierta cantidad de gases tóxicos para los nemátodos fitopatógenos, según estudios realizados en diversas partes del mundo, tal cantidad de gases está en función de la especie vegetal y las características de humedad y temperatura del suelo; bajo tal enunciado, podemos respaldar la razón por la que en ambas temporadas, los tratamientos mostraron similar eficacia, ya que la especie vegetal utilizada y las condiciones de humedad aplicadas al suelo, fueron similares. Además, los factores de los que depende la acción toxica, se suman a otros que condicionan el comportamiento de las poblaciones de nemátodos fitopatógenos, lo cual respalda el incremento del género *Pratylenchus* spp al aplicar dosis baja de material biofumigante.

El género *Pratylenchus* spp se clasifica como endoparásito migratorio, lo cual dificulta poder erradicar las poblaciones, no obstante, la técnica de biofumigación con brócoli fue efectiva en ambas temporadas al aplicar dosis de 3 kg/m<sup>2</sup> y 4 kg/m<sup>2</sup>, debido la acción nematicida de los compuestos liberados durante el proceso de biodegradación en el área tratada.

#### 4.3. Efecto de tratamientos sobre población final de *Meloidogyne* spp.

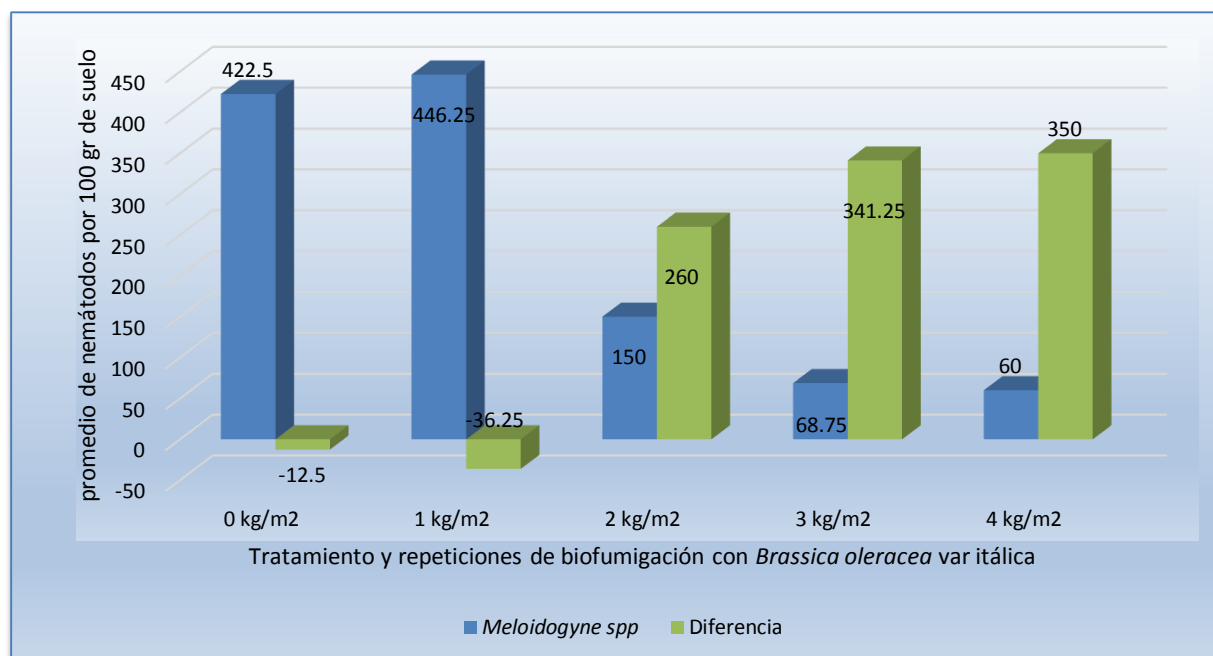
Como población inicial en la primera temporada se tienen 240 nemátodos fitopatógenos del género *Meloidogyne* spp por cada 100 gramos de suelo, al aplicar los tratamientos de 4 kg/m<sup>2</sup>, 3 kg/m<sup>2</sup> y 2 kg/m<sup>2</sup> de residuos de brócoli, disminuyó la población a 28, 24 y 123 nemátodos por tratamiento respecto al testigo que no tuvo cambios en la población. El tratamiento con 1 kg/m<sup>2</sup> de residuos de brócoli incrementó la población en 5 nemátodos. La figura 6 muestra los detalles.





**Figura 6.** Control de *Meloidogyne spp* vrs población inicial, temporada 1.

En la segunda temporada, teniendo como población inicial 410 nemátodos fitopatógenos del género *Meloidogyne spp* por cada 100 gramos de suelo, al aplicar 4 kg/m<sup>2</sup> 3 kg/m<sup>2</sup> y 2 kg/m<sup>2</sup> de residuos de brócoli, la población final promedio disminuyó en 60, 69 y 150 nemátodos por 100 gramos de suelo. El testigo y el tratamiento con 1 kg/m<sup>2</sup> incrementaron en 13 y 36 nemátodos más que la población inicial; la figura 7 muestra los detalles.



**Figura 7.** Control de *Meloidogyne spp* vrs población inicial, temporada 2.

4.3.1. Análisis estadístico de población final del género *Meloidogyne* spp.**Cuadro 8.** Análisis de varianza al 95% de significancia para *Meloidogyne* spp.

TEMPORADA	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
1,00	NEMATODOS	20	0,94	0,90	24,55

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	194208,75	7	27744,11	26,52	<0,0001
REPETICIÓN	5563,75	3	1854,58	1,77	0,2058
TRATAMIENTO	188645,00	4	47161,25	45,08	<0,0001
Error	12555,00	12	1046,25		
Total	206763,75	19			

TEMPORADA	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
2,00	NEMATODOS	20	0,99	0,98	10,15

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	584087,50	7	83441,07	153,87	<0,0001
REPETICIÓN	3605,00	3	1201,67	2,22	0,1389
TRATAMIENTO	580482,50	4	145120,63	267,61	<0,0001
Error	6507,50	12	542,29		
Total	590595,00	19			

Fuente: Elaboración propia. Trabajo de gabinete, Chimaltenango, mayo 2015.

De acuerdo al análisis de varianza se pudo determinar que existe diferencia estadísticamente significativa al 95% de confianza entre los tratamientos, lo que significa que al menos uno de los tratamientos ofrece mejor control que los demás, por lo cual se procedió a realizar la prueba múltiple de Tukey, la cual se presenta en el cuadro 9.

Teniendo como soporte científico el hecho de que las proteínas tienen una función esencial en los nemátodos, y cuando se modifican químicamente por la acción del fumigante se desnaturalizan o, en otras palabras, se alteran y pierden su función vital, y en consecuencia el microorganismo muere. Esta es una de las formas de cómo actúan las sustancias volátiles de la biofumigación con efecto biocida, lo que significa que afecta cualquier estadillo de los microorganismos, incluso los huevos de nemátodos.

**Cuadro 9.** Prueba de medias de Tukey al 95% de probabilidad, para *Meloidogyne* spp.**Temporada 1****Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=72,90271**

Error: 1046,2500 gl: 12

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T3	23,75	4	16,17 A
T4	27,50	4	16,17 A
T2	122,50	4	16,17 B
T0	240,00	4	16,17 C
T1	245,00	4	16,17 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Temporada 2****Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=52,48587**

Error: 542,2917 gl: 12

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T4	60,00	4	11,64 A
T3	68,75	4	11,64 A
T2	150,00	4	11,64 B
T0	422,50	4	11,64 C
T1	446,25	4	11,64 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fuente: Elaboración propia. Trabajo de gabinete, Chimaltenango, mayo 2015.

La prueba de medias por el método de Tukey con un 95% de confianza, separó tres grupos estadísticamente diferentes, siendo estos similares para las temporadas uno y dos. El primero identificado con la literal A, que corresponden a los tratamientos con 4 kg/m<sup>2</sup> y 3 kg/m<sup>2</sup>, disminuyeron la población en 89.43% y 85.18% en promedio para primera y segunda temporada respectivamente. Siendo estos los tratamientos con mayor efecto sobre las poblaciones.

El grupo representado por la literal B, corresponde al tratamiento con 2 kg/m<sup>2</sup> de residuos de brócoli, el cual controló al género *Meloidogyne* spp en 49.48% y 65.47% para la primera y segunda temporada respectivamente. Mismo grupo tiene diferencia estadísticamente significativa con los tratamientos T0 y T1 como también con los tratamientos T3 y T4.

El último grupo se identifica con la literal C, conformado por los tratamientos T0 y T1, entre los cuales no hay diferencia estadísticamente significativa pero si con resultados negativos, incrementando la infestación de nemátodos del género *Meloidogyne* spp en 2,18% y 3,17% en promedio para las temporadas uno y dos respectivamente.

Los nemátodos del género *Meloidogyne* spp, formadores de nódulos, se caracterizan por ser endoparásitos sedentarios, mismo género que presenta los mayores problemas

económicos en la agricultura a nivel mundial. Por tales características de sobrevivencia, el género ha limitado la efectividad de los nematicidas para controlarlo. No obstante, con la presente investigación se demuestra que el método de biofumigación con residuos de brócoli propicia una alta efectividad para disminuir las poblaciones, al aplicar dosis igual o superior a 3 kg/m<sup>2</sup>.

#### 4.4. Eficacia de tratamientos sobre el género *Meloidogyne* spp.

Según resultados de análisis de laboratorio realizados a las muestras de suelo, los tratamientos con 4 kg/m<sup>2</sup>, 3 kg/m<sup>2</sup> y 2 kg/m<sup>2</sup> de residuos de brócoli controlaron en 88.33%, 90%, 48.75% respectivamente. El tratamiento con 1 kg/m<sup>2</sup> incrementó la población en 2.08% y 0 kg/m<sup>2</sup> mantuvo la población de nemátodos fitoparásitos del género *Meloidogyne* spp al final de las 6 semanas que duró el ensayo.

Respecto a la segunda temporada del estudio, de los análisis realizados a las muestras de suelo, se tiene que: 4 kg/m<sup>2</sup>, 3 kg/m<sup>2</sup> y 2 kg/m<sup>2</sup> de biofumigante, disminuyó la población de nemátodos fitoparásitos del género *Meloidogyne* spp en 85.36%, 83.17% y 63.41%. Con 1 kg/m<sup>2</sup> y 0 kg/m<sup>2</sup> incrementó la población en 8.78% y 3.17% respectivamente.

Debido a que los nemátodos fitopatógenos del género *Meloidogyne* spp, interactúan con otros microorganismos para causar daño a las plantas y tienen la particularidad de ser polífagos, resulta ineficaz realizar aplicaciones de biofumigante que liberen cantidades de sustancias volátiles por debajo de la concentración y el tiempo necesario para causar toxicidad a los microorganismos en mención.

La eficacia de las sustancias volátiles liberadas durante el proceso de biodegradación de la materia verde, se evidencia con la presente investigación, al reducir (en 87% aproximadamente) las poblaciones de los nemátodos fitopatógenos del género *Meloidogyne* spp, aplicando dosis igual o superior a 3 kg/m<sup>2</sup> de residuos de brócoli.

## 5. CONCLUSIONES

- 1 El método de biofumigación con *Brassica oleracea* var. *Italica* resultó eficaz en el control de nemátodos fitopatógenos que causan daño a la horticultura.
- 2 Los tratamientos que redujeron en mayor porcentaje la población de nemátodos fitopatógenos fueron 4 kg/m<sup>2</sup> y 3 kg/m<sup>2</sup>. La reducción del género *Pratylenchus* spp en 93.9% en promedio de ambas temporadas y en 91.8% al aplicar 3 kg/m<sup>2</sup>. Al aplicar 4 kg/m<sup>2</sup> redujo la población del género *Meloidogyne* spp en 86.8% en promedio de ambas temporadas y 86.6% al aplicar 3 kg/m<sup>2</sup>.
- 3 La población de nemátodos fitopatógenos del género *Pratylenchus* spp en el tratamiento testigo (0 kg/m<sup>2</sup>), incrementó en promedio de las dos temporadas 30% en tanto que el género *Meloidogyne* spp únicamente incrementó la población en 3.17% con respecto a la población inicial.
- 4 Las aplicaciones a dosis igual o inferior a 2 kg/m<sup>2</sup> de residuos de brócoli, resultan contraproducentes, hasta convertir en condiciones adecuadas que permiten incrementar la población de nemátodos fitopatógenos.
- 5 La técnica de biofumigación no difiere su eficacia en el control de poblaciones de nemátodos fitopatógenos a dosis de 4 kg/m<sup>2</sup> y 3 kg/m<sup>2</sup> entre las temporadas evaluadas.
- 6 Las dosis de biofumigante evaluado, muestran diferencia estadísticamente significativa con respecto al número de nemátodos por cada 100 gramos de suelo, de las muestras tomadas y analizadas en el laboratorio, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa.
- 7 Los nemátodos fitopatógenos de los géneros *Pratylenchus* spp y *Meloidogyne* spp, son susceptibles a las sustancias volátiles liberadas durante el proceso de biodegradación del biofumigante, por lo que al aplicar dosis de 4 kg/m<sup>2</sup> y/o 3 kg/m<sup>2</sup> de residuos de *Brassica oleracea* var. *Italica* (brócoli) el método de biofumigación resulta eficaz en la reducción de las poblaciones.

## 6. RECOMENDACIONES

- 1 Aplicar residuos de *Brassica oleracea* var itálica (brócoli) a razón de 3 kg/m<sup>2</sup> durante 6 semanas, para reducir las poblaciones de nemátodos fitopatógenos, que causan daño a la horticultura.
- 2 No aplicar dosis menores a tres kilogramos de brócoli por metro cuadrado, dado que genera condiciones favorable para el incremento de poblaciones de nemátodos fitoparásitos.
- 3 La manipulación e incorporación de los residuos de brócoli, debe realizarse con la mayor inmediatez posible, para evitar pérdida en las propiedades biofumigantes.
- 4 Mantener la humedad del suelo a capacidad de campo, durante el periodo de tratamiento, para brindar mejor movilidad de las sustancias volátiles en el espacio tratado.
- 5 La trituración de los residuos de brócoli, se recomienda con tamaño promedio de dos pulgadas de largo, lo cual facilita la descomposición del material biofumigante.
- 6 Los resultados obtenidos en esta investigación, pueden servir de punto de partida para realizar investigaciones de manejo biológico integrado de nemátodos sedentarios y de vida libre, pues la inoculación del suelo biofumigado, con microorganismos que parasitan huevos de nemátodos, puede ser una alternativa para mantener las poblaciones a niveles inferiores del límite de tolerancia.
- 7 Realizar investigaciones afines a la biofumigación, tales como: determinar el tiempo óptimo de trasplante, comportamiento de microorganismos benéficos (nemátodos saprófitos, bacterias y fúngicos), fertilidad de suelos, entre otros; brindará información profunda de otros beneficios de la técnica.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, W.S; 1925. A Method of computing the effectiveness or an insecticide. J. Econ. Entomol, 18. 265-267.
- Bello, A.; M.J. Melo. 1998. Reducción de las poblaciones de nematodos con técnicas alternativas al bromuro de metilo. In: Memoria de Actividades 1998, Resultados de Ensayos Hortícolas, Generalitat Valenciana, Fundación Caja Rural de Valencia, 347-350.
- Bello, A.; J.A. López-Pérez; L. Díaz-Viruliche; R.Sanz. 2003. Biofumigación y solarización como alternativas al bromuro de metilo. Dpto Agroecología, CCMA, CSIC. Serrano 115 dpdo 28006 Madrid. 19 p.
- Bello, A. et al. 2000. Alternativas al bromuro de metilo como fumigante del suelo en España. Ed. por R. Labrada. Roma, Italia, FAO. 13 p.
- Calderón, LF. et al. 2000. Evaluación del efecto biofumigante de diversas fuentes de materia orgánica en el altiplano central de Guatemala. 48 p.
- Díes-Rojo, MA; López-Pérez; Urbano Terrón; Bello-Pérez. 2010. Biofumigación de suelos y manejo agronómico. Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino, Gobierno de España. España. 408 p.
- Flores Mendoza, RA. 2003. Uso de residuos de brócoli y gallinaza como agentes Biofumigantes del suelo, para el control de nematodos en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota L.*). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 64 p.
- Hernández Chea, RE; 2002. Efecto biofumigante de diversas fuentes de material orgánica en cultivo de brócoli. Tesis Ing. Agr. Guatemala. Unicersidad Rafael Landívar. 70 p.
- MAGA, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2010, Estudio semidetallado de los suelos de Chimaltenango Guatemala. Volumen I, 78