

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

**EVALUACIÓN DE LA BIOFUMIGACIÓN EN EL CONTROL DE NEMATODOS
EN LA PRODUCCIÓN DE ZANAHORIA *Daucus carota* L.
EN PASTORES, SACATEPÉQUEZ**

TESIS
PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

RAMÓN ALFREDO FLORES MENDOZA

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE LICENCIADO

Guatemala, abril de 2003

DL
01
462514

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. M.V. Luis Alfonso Leal Monterroso

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr.	Edgar Oswaldo Franco Rivera
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr.	Walter Estuardo García Tello
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr.	Manuel de Jesús Martínez Ovalle
VOCAL TERCERO	Ing. Agr.	Erberto Raúl Alfaro Ortíz
VOCAL CUARTO	Br.	Wener Armando Ochoa Orozco
VOCAL QUINTO	Br.	Juan Manuel Corea Ochoa
SECRETARIO	Ing. Agr.	Edil René Rodríguez Quezada

Guatemala, abril de 2003

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Distinguidos miembros:


De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado

**EVALUACIÓN DE LA BIOFUMIGACIÓN EN EL CONTROL DE NEMATODOS
EN LA PRODUCCIÓN DE ZANAHORIA *Daucus carota* L.
EN PASTORES, SACATEPÉQUEZ**

Presentado como requisito previo a optar el Título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

En espera de su aprobación, me es grato presentarles mi agradecimiento.

Atentamente,



RAMÓN ALFREDO FLORES MENDOZA

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS:

Por darme la vida y ser fuente de toda sabiduría y permitirme culminar mi carrera.

MIS PADRES:

Ramón Alfredo Flores Salguero y Gloria del Carmen Mendoza Garnica de Flores, Pilares fundamentales de mi vida, como reconocimiento a sus múltiples sacrificios por guiarme hacia un mejor futuro.

MIS HERMANOS:

Marco Vinicio, Gloria Emperatriz, como muestra de mi amor

MI ESPOSA:

Fortuna María Teresa Andrade Espósito de Flores, por su amor, comprensión y apoyo incondicional.

MIS HIJOS:

Laura Gabriela, Luis Alfredo, Sthephany, Tracy Pamella.

FAMILIA EN GENERAL

Con cariño y respeto

MIS AMIGOS:

Con mucho aprecio a todos en general.

TESIS QUE DEDICO

A:

Guatemala

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Agronomía

Carrera en Sistemas de Producción Agrícola

Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola

Los horticultores del altiplano guatemalteco.

AGRADECIMIENTOS

A:

- Mis asesores **Ing. Agr. José Humberto Calderón Díaz, Ing. Agr. Alvaro Gustavo Hernández Dávila e Ing. Agr. Luis Fernando Solís Samayoa**, por su incondicional apoyo en la realización de este trabajo y por su amistad brindada.
- La empresa **Royal Antigua** que contribuyó en el desarrollo de la presente investigación.

CONTENIDO GENERAL

	ÍNDICE DE FIGURAS	vi
	ÍNDICE DE CUADROS	viii
	RESUMEN	ix
1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3.	MARCO TEÓRICO	4
3.1	MARCO CONCEPTUAL	4
3.1.1	EL CULTIVO DE LA ZANAHORIA	4
A.	IMPORTANCIA ECONÓMICA	4
B.	CLASIFICACIÓN BOTÁNICA	4
C.	MORFOLOGÍA	4
D.	VALOR NUTRICIONAL DE LA ZANAHORIA	5
E.	MANEJO DE CULTIVO	6
3.1.2	NEMATODOS ASOCIADOS AL CULTIVO DE LA ZANAHORIA	7
A.	NEMATODO AGALLADOR DE LA ZANAHORIA	
	<i>Heterodera carotae</i>	8
B.	NEMATODO DEL NÓDULO DE RAÍZ DE ZANAHORIA	
	<i>Meloidogyne spp.</i>	9
3.1.3	MÉTODOS DE CONTROL DE NEMATODOS	12
A.	CULTIVO Y EL TRATAMIENTO DE TIERRAS	12
B.	CONTROL BIOLÓGICO	13
C.	CONTROL MEDIANTE RESISTENCIA DE LAS PLANTAS	13
D.	CONTROL POR MEDIO DE FACTORES FÍSICOS	13
E.	CONTROL QUÍMICO	13
3.1.4	EFFECTOS NOCIVOS DEL USO DE AGROQUÍMICOS	13
3.1.5	LA TÉCNICA DE BIOFUMIGACIÓN PARA EL CONTROL DE NEMATODOS	14
A.	DEFINICIÓN DE BIOFUMIGACIÓN	14
B.	BASES CIENTÍFICAS DE LA PRÁCTICA DE BIOFUMIGACIÓN	15

3.1.6	DIFERENCIAS ENTRE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO Y BIOFUMIGACIÓN	18
A.	FUNCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LA BIOFUMIGACIÓN Y EFECTO SOBRE EL AMBIENTE	19
3.2	MARCO REFERENCIAL	20
3.2.1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	20
3.2.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICO-BIOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	20
A.	CLIMA	20
B.	RECURSOS NATURALES	20
3.2.3	ACTIVIDAD PRODUCTIVA DE LA FINCA TEGUCIGALPA	23
3.2.4	BRÓCOLI COMO MATERIAL BIOFUMIGANTE	23
A.	ELEMENTO BIOFUMIGANTE EN BRÓCOLY Y SUS MECANISMOS DE LIBERACIÓN Y ACCIÓN	23
3.2.5	GALLINAZA COMO MATERIAL BIOFUMIGANTE	25
3.2.6	INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON LOS FITONEMATODOS Y SU MANEJO	27
A.	A NIVEL DE LABORATORIO PARA IDENTIFICAR COMPUESTOS ANTIMICROBIANOS EN LAS PLANTAS	27
B.	A NIVEL DE CAMPO CON DIVERSOS MATERIALES BIOFUMIGANTES	27
3.2.7	DESCRIPCIÓN DE LA ZANAHORIA CULTIVADA Y REQUERIMIENTOS DE CALIDAD	29
3.2.8	METODOLOGÍA PARA EL CONTEO DE NEMATODOS	29
4.	OBJETIVOS	31
4.1	GENERAL	31
4.2	ESPECÍFICOS	31
5.	HIPÓTESIS	32

6.	METODOLOGÍA	33
6.1	UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO	33
6.2	DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	33
6.3	DISEÑO EXPERIMENTAL	34
6.3.1	MODELO ESTADÍSTICO	34
6.3.2	DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN EL CAMPO	35
6.3.3	DETALLE DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL	36
6.4	MANEJO DEL ENSAYO	36
6.4.1	MANEJO AGRONÓMICO	36
A.	LABORES PRESIEMBRA	36
B.	SIEMBRA	37
C.	RALEO	37
D.	CONTROL DE MALEZAS	37
E.	CONTROL FITOSANITARIO	37
F.	FERTILIZACIÓN	37
G.	RIEGO	37
H.	COSECHA	38
6.4.2	MANEJO EXPERIMENTAL	38
A.	OBTENCIÓN DE LOS MATERIALES ORGÁNICOS BIOFUMIGANTES	38
B.	PROCESADO DE LOS MATERIALES ORGÁNICOS	38
C.	MUESTREO NEMATOLÓGICO DEL SUELO	38
D.	MUESTREO NEMATOLÓGICO EN RAÍCES	39
E.	APLICACIÓN DE LOS MATERIALES BIOFUMIGANTES AL SUELO	40
6.4.3	VARIABLES DE RESPUESTA	40
6.5	TOMA DE DATOS EN EL CAMPO	40
6.5.1	REGISTRO DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN	41
6.6	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	41
A.	POBLACIÓN DE NEMATODOS	41
B.	LONGITUD PESO Y RENDIMIENTO DE RAÍZ DE ZANAHORIA	42

7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
7.1	DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA POBLACIÓN DE NEMATODOS EN EL SUELO	43
7.1.1	POBLACIÓN DE NEMATODOS EN EL TRATAMIENTO TESTIGO (SIN CONTROL DE NEMATODOS)	44
A.	POBLACIÓN PROMEDIO DE NEMATODOS DESDE LA SIEMBRA HASTA LA COSECHA DE ZANAHORIA EN EL TRATAMIENTO TESTIGO	46
7.1.2	POBLACIÓN DE NEMATODOS EN EL TRATAMIENTO 1 (5 kg/m ² DE GALLINAZA)	47
A.	POBLACIÓN PROMEDIO DE NEMATODOS DESDE LA SIEMBRA HASTA LA COSECHA DE ZANAHORIA EN EL TRATAMIENTO 1 (5 kg/m ² DE GALLINAZA)	48
7.1.3	POBLACIÓN DE NEMATODOS EN LOS TRATAMIENTOS 2 (0 kg/m ² DE GALLINAZA Y 5 kg/m ² DE BRÓCOLI)	49
7.1.4	POBLACIÓN DE NEMATODOS EN EL TRATAMIENTO 3 (4 kg/m ² DE GALLINAZA Y 1 kg/m ² DE BRÓCOLI)	51
7.1.5	POBLACIÓN DE NEMATODOS EN EL TRATAMIENTO 4 (3 kg/m ² DE GALLINAZA Y 2 kg/m ² DE BRÓCOLI)	52
7.1.6	POBLACIÓN DE NEMATODOS EN EL TRATAMIENTO 5 (2 kg/m ² DE GALLINAZA Y 3 kg/m ² DE BRÓCOLI)	53
7.1.7	POBLACIÓN DE NEMATODOS EN EL TRATAMIENTO 6 (1 kg/m ² DE GALLINAZA Y 4 kg/m ² DE BRÓCOLI)	54
7.2	ANÁLISIS INTEGRADO DE LA POBLACIÓN PROMEDIO DE NEMATODOS EN CADA TRATAMIENTO DESDE LA SIEMBRA HASTA LA COSECHA	55
7.3	POBLACIÓN DE NEMATODOS EN RAÍZ DE ZANAHORIA	56
7.4	PORCENTAJE DE RAÍCES SANAS Y CON DAÑO DE NEMATODOS	58
7.5	LONGITUD Y PESO DE RAÍZ DE ZANAHORIA	60
7.6	RENDIMIENTO DE ZANAHORIA EN kg/ha	61
7.7	ANÁLISIS ECONÓMICO	62

8.	CONCLUSIONES	63
9.	RECOMENDACIONES	64
10.	BIBLIOGRAFÍA	65
11.	ANEXOS	67

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Agallamientos en raíces de zanahoria <i>Daucus carota</i> L. producido por el nematodo del nódulo radicular <i>Meloidogyne incógnita</i> (Kofoid & White, 1919)	9
Figura 2.	Ciclo patológico del nódulo de la raíz, producido por nematodos de <i>Meloidogyne spp.</i>	10
Figura 3.	Proceso general de biofumigación	15
Figura 4.	Perfil del suelo con material biofumigante + sello de agua o plástico	17
Figura 5.	Mapa de ubicación de la finca Tegucigalpa	21
Figura 6.	Localización de los precursores de los isotiocianatos en la célula vegetal	24
Figura 7.	Transformación de glucosinolatos en isotiocianatos	24
Figura 8.	Distribución de los tratamientos en el campo	35
Figura 9.	Dimensiones de la unidad experimental	36
Figura 10.	Población de nematodos por 100 cc de suelo en el tratamiento testigo (sin control de nematodos, en cada unidad experimental a través de seis muestreos	44
Figura 11.	Población promedio de nematodos en el suelo desde el momento de la siembra hasta la cosecha de zanahoria	46
Figura 12.	Población de nematodos por 100 cc de suelo en el tratamiento uno (5 kg/m ² de gallinaza, en cada unidad experimental a través de seis muestreos)	47
Figura 13.	Población promedio de nematodos en el suelo desde el momento de la siembra hasta la cosecha de zanahoria en el tratamiento uno (5 kg/m ² de gallinaza)	49
Figura 14.	(a) Población de nematodos por 100 cc de suelo en cada uno de los seis muestreos realizados en el cultivo de la zanahoria (b) población promedio de nematodos en suelo desde la siembra (muestreo 2) hasta la cosecha de zanahoria (muestreo 6)	50
Figura 15.	(a) Población de nematodos por 100 cc de suelo en cada uno de los seis muestreos realizados en el cultivo de la zanahoria (b) población promedio de nematodos en suelo desde la siembra (muestreo 2) hasta la cosecha de zanahoria (muestreo 6)	51

Figura 16.	(a) Población de nematodos por 100 cc de suelo en cada uno de los seis muestreos realizados en el cultivo de la zanahoria (b) población promedio de nematodos en suelo desde la siembra (muestreo 2) hasta la cosecha de zanahoria (muestreo 6)	52
Figura 17.	(a) Población de nematodos por 100 cc de suelo en cada uno de los seis muestreos realizados en el cultivo de la zanahoria (b) población promedio de nematodos en suelo desde la siembra (muestreo 2) hasta la cosecha de zanahoria (muestreo 6)	53
Figura 18.	(a) Población de nematodos por 100 cc de suelo en cada uno de los seis muestreos realizados en el cultivo de la zanahoria (b) población promedio de nematodos en suelo desde la siembra (muestreo 2) hasta la cosecha de zanahoria (muestreo 6)	54
Figura 19.	Población promedio de nematodos durante el ciclo de cultivo de la zanahoria en cada uno de los tratamientos biofumigantes	55
Figura 20.	Porcentaje de raíces sanas y con daño por nematodos	59
Figura 21.	Prueba de Tukey para la variable rendimiento de raíz de zanahoria en kg/ha	61

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Contenido nutricional de la zanahoria	5
Cuadro 2.	Diversos materiales biofumigantes según su origen	16
Cuadro 3.	Diferencias entre incorporación de materia orgánica al suelo y biofumigación	18
Cuadro 4.	Tratamientos biofumigantes evaluados	34
Cuadro 5.	Fechas de los muestreos nematológicos del suelo	38
Cuadro 6.	Fechas de muestreos nematológicos de raíz	40
Cuadro 7.	Nematodos por 10 gr de raíz de zanahoria a lo largo de cuatro muestreos	57
Cuadro 8.	ANDEVA para la variable longitud de zanahoria en centímetros	60
Cuadro 9.	ANDEVA para la variable peso de raíz de zanahoria en gramos	60
Cuadro 10.	ANDEVA para la variable rendimiento de raíces sanas de zanahoria en kg/ha	61
Cuadro 11.	Relación beneficio costo y rentabilidad de la zanahoria	62

EVALUACIÓN DE LA BIOFUMIGACIÓN EN EL CONTROL DE NEMATODOS EN LA PRODUCCIÓN DE ZANAHORIA *Daucus carota* L.

BIOFUMIGATION EVALUATION TO CONTROL NEMATODES IN CARROT *Daucus carota* L. PRODUCTION

RESUMEN

En el altiplano de Guatemala, el pequeño y mediano productor tiene como actividad principal la producción de cultivos hortícola, lo cual es una fuente de generación de ingresos y permite también producir una fuente de alimento para consumo interno y para exportación. Esta actividad a través de los años ha provocado un daño ambiental a sus sistemas de producción, como lo es la contaminación del suelo y fuentes de agua debido a la utilización inadecuada de plaguicidas. Debido a estos efectos negativos es necesario desarrollar o validar nuevas tecnologías para la producción hortícola que sean ambientalmente compatibles.

El presente estudio tuvo como finalidad utilizar la técnica de biofumigación como una alternativa para el control de nematodos en el cultivo de la zanahoria *Daucus carota* L., que se ve afectada en su calidad y rendimiento por estos microorganismos, especialmente en el altiplano de Guatemala.

Se evaluaron dos fuentes de materiales que actúan como biofumigantes, la gallinaza (libera metano y CO₂) y residuos de brócoli (libera isotiocianatos) en diferentes dosis. El experimento se condujo en la finca Tegucigalpa de la empresa Pamputik, municipio de Pastores, Sacatepéquez, utilizándose un diseño experimental de bloques al azar con 7 tratamientos y 4 repeticiones.

En los resultados de esta investigación se observó que el tratamiento biofumigante que mejor redujo la población de nematodos en el cultivo de la zanahoria durante los primeros 60 días del ciclo del cultivo, fue el de 5 kg/m² de gallinaza, debido a liberó durante 5 semanas el suficiente amonio para reducir las poblaciones de *Meloidogyne* spp., que fue el único género que se encontró en los muestreos, provocando solo un 12% de daño en las raíces, obteniéndose un mayor rendimiento y rentabilidad.

El uso de biofumigantes en el cultivo de la zanahoria es una alternativa para evitar el uso de nematicidas químicos y poder coadyuvar a una mejor sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de cultivos hortícolas ha cobrado vital importancia en la región del altiplano de Guatemala, debido a que son una fuente de alimentos contribuyendo a la seguridad alimentaria de la región y del país en general. El desarrollo del proceso productivo de esta región ha llevado también a un deterioro del ambiente, es decir se han provocado problemas graves debido a la contaminación del suelo y fuentes de agua esto debido al uso inadecuado de las plaguicidas.

Uno de los principales problemas en esta región lo constituye las plagas del suelo, especialmente los nematodos, por lo cual la presente investigación tiene como finalidad desarrollar y validar nuevas alternativas tecnológicas en la producción hortícola que sean ambientalmente compatibles. El objetivo principal de este estudio fue el de evaluar la técnica de biofumigación para el control nematodos del suelo que afectan principalmente las raíces comestibles de la zanahoria (*Daucus carota* L.), siendo un factor limitante para su comercialización y exportación, reduciendo hasta un 80% la calidad y el rendimiento en un 25%.

En este ensayo se evaluaron dos fuentes de materia orgánica que producen sustancias volátiles que tienen un efecto nematicida y biocida, siendo estos gallinaza (libera metano y CO₂) y residuos de brócoli (libera isotiocianatos).

El experimento se realizó en la finca Tegucigalpa, municipio de Pastores, Sacatepéquez, éste constó con un total de 6 tratamientos y un testigo absoluto, para su ejecución y análisis se utilizó un diseño de bloques. Este experimento se realizó en condiciones de campo abierto y tuvo una fase de campo de 7 meses (mayo-noviembre 2001).

Como resultado de esta investigación, se observó al utilizar 5 kg/m² de gallinaza con sello de agua permitió reducir la población de nematodos del género *Meloidogyne* spp. permitiendo obtener una mejor calidad y rentabilidad del cultivo de la zanahoria. Se pudo observar también que los residuos de brócoli aplicados al suelo en una dosis de 5 kg/m² con sello de agua, no libera suficiente isotiocianatos para reducir las poblaciones de nematodos. De las combinaciones realizadas de gallinaza y brócoli aplicadas al suelo para el control de nematodos ninguna redujo la población de éstos como lo observado por los dos tratamientos anteriores.

Como una conclusión general de este trabajo, se puede inferir de los resultados obtenidos que el uso de la biofumigación es una alternativa para dejar de seguir contaminando el ambiente y poder coadyuvar a una agricultura amigable con el ambiente, incrementado la posibilidad de una agricultura sostenible.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de zanahoria es una actividad que reviste importancia económica principalmente en la región del altiplano de Guatemala, debido que se produce para consumo interno y para exportación. La calidad de este producto se ve afectado en su calidad debido a las deformaciones y reducción de rendimiento provocadas por el ataque de nematodos principalmente por el genero *Meloidogyne* spp.

El control de nematodos normalmente se realiza a través de la utilización de nematicidas químicos que ha provocado una contaminación de suelo y fuentes de agua afectando la sostenibilidad de estos sistemas de producción agrícola.

La biofumigación es una alternativa que permite utilizar materiales de desecho de cosechas y otros subproductos de sistemas de producción agropecuarios como lo es el estiércol de aves, ganado vacuno y otros. Además reducen en una forma sustancial la contaminación ambiental incrementado la sostenibilidad en estos sistemas.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 EL CULTIVO DE ZANAHORIA

La zanahoria, *Daucus carota* L., es una especie originaria del centro asiático y del mediterráneo. Ha sido cultivada y consumida desde tiempos antiguos por griegos y romanos. Durante los primeros años de su cultivo, las raíces de la zanahoria eran de color violáceo. El cambio de éstas a su actual color naranja se debe a las selecciones ocurridas a mediados de 1700 en Holanda, que aportó una gran cantidad de caroteno, el pigmento causante del color y que han sido base del material vegetal actual (14).

A. Importancia Económica

El cultivo de la zanahoria ha experimentado un importante crecimiento en los últimos años tanto en superficie como en producción, ya que se trata de una de las hortalizas más producidas en el mundo, el mayor productor es China con 5,000,120.00 toneladas métricas por año, seguido por Estados Unidos y la Federación Rusa (14). En Guatemala para el año 2000 se produjeron 6,896.94 toneladas métricas, con un monto total de \$ 944,517.00; el área de mayor producción de zanahoria la constituye la región Central del Altiplano guatemalteco (17).

B. Clasificación Botánica

➤	Reino	Plantae
➤	Clase	Magnoliophyta
➤	Subclase	Rosidae
➤	Orden	Apiales
➤	Familia	Umbelliferae
➤	Género	Daucus
➤	Especie	<i>Daucus carota</i> L. (21).

C. Morfología

a. Planta

Bianual, durante el primer año se forma una roseta de pocas hojas y la raíz; después de un período de descanso, se presenta un tallo corto en el que se forman las flores durante la segunda estación de crecimiento.

b. Sistema radicular

Raíz napiforme, de forma y color variables, tiene función almacenadora, y también presenta numerosas raíces secundarias que sirven como órganos de absorción. Al realizar un corte transversal se distinguen dos zonas bien definidas: una exterior, constituida principalmente por el floema secundario y otra interior formada por el xilema y la médula. Las zanahorias más aceptadas son las que presentan gran proporción de corteza exterior, ya que el xilema es generalmente leñosos y sin sabor (14).

c. Flores

De color blanco, con largas brácteas en su base, agrupadas en inflorescencias en umbela compuesta (14).

d. Fruto

Diaquenio soldado por su cara plana (14).

D. Valor Nutricional de la Zanahoria

Las cualidades nutritivas de las zanahorias son importantes, especialmente por su elevado contenido en beta-caroteno (precursor de la vitamina A), pues cada molécula de caroteno que se consume es convertida en dos moléculas de vitamina A. En general se caracteriza por un elevado contenido en agua y bajo contenido en lípidos y proteínas. A continuación se presenta el contenido nutricional de la zanahoria por cada 100 gramos (14) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Contenido nutricional de la zanahoria (14)

Componente	Cantidad	Componente	Cantidad
Agua	88.6 g	Carbohidratos	10.1 g
Lípidos	0.2 g	Calorías	40 Cal.
Vitamina A	2,000 – 12,000 U.I.	Vitamina B1	0.13 mg
Vitamina B2	0.06 mg	Vitamina B6	0.19 mg
Vitamina E	0.45 mg	Ácido nicotínico	0.64 mg
Potasio	0.1 mg		

E. Manejo del cultivo

Se cultiva en climas templados con el propósito de aprovechar la raíz reservoria, las temperaturas óptimas para su desarrollo van de 15 a 20 °C, el periodo vegetativo para el aprovechamiento de la raíz es de 90 a 120 días el cual varía según las variedades (21).

a. Siembra

La siembra se puede hacer directa al campo con un distanciamiento entre surcos de 25 centímetros y entre plantas de 2 a 4 centímetros o indirectamente empleando semilleros (tablones); para cultivar una hectárea se necesita de 4 a 6 kilogramos de semilla; normalmente en un gramo se tienen entre 800 y 1,200 semillas (21).

b. Suelos

Requiere de suelos sueltos arenosos, bien drenados y ricos en materia orgánica con un pH entre 5 y 6.8 (21).

c. Fertilización

Se debe aplicar materia orgánica en la preparación del terreno. Los fertilizantes a emplear pueden ser al momento de la siembra ricos en potasio y después del raleo ricos en nitrógeno. Es conveniente aplicar abono foliar (Bayfolán) a razón de 2.5 litros por hectárea; durante el ciclo de cultivo debe realizarse 5 aplicaciones a intervalos de 21 días (21).

d. Riego

Ligeros y frecuentes, hay que evitar al máximo cualquier irregularidad en el abastecimiento de agua (21).

e. Control de Malezas

El control de malezas se debe realizar preemergente aplicando Linurón (Afalón), a razón de 4 medidas bayer por bomba al aparecer malezas se aplica el mismo herbicida.

f. Enfermedades

Mancha de la hoja Alternaria dauci (21).

g. Plagas

Entre las plagas que mas afectan a la zanahoria se encuentran los gusanos de tierra o nocheros (Lepidoptera: Noctuidae), ácaros *Tetranychus spp.* (Acari: Tetranychidae), pulgones *Aphis spp.* (Homoptera: Aphidae) y nematodos *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) (Tylenchida: Meloidogunidae), *Heterodera carotae* (Jones 1950) (Tylenchida: Heteroderidae). Los nematodos revisten importancia económica puesto que afectan el órgano de comercialización de la zanahoria que es la raíz, por lo que en el inciso 3.1.2 se ampliará la información de los géneros de nematodos asociados al cultivo de zanahoria (14, 21).

h. Cosecha

Debe realizarse cuando alcanza entre 5 y 6 centímetros de diámetro, normalmente se obtienen de 15,000 a 20,000 kg/ha de raíz (14, 21).

i. Manejo Post-Cosecha

Se debe conservar al ambiente fresco y ventilado por no más de 5 días, en refrigeración por 120 días a 0 °C y 95 % de humedad relativa (21).

3.1.2 NEMATODOS ASOCIADOS AL CULTIVO DE ZANAHORIA

Los nematodos cada día va siendo un factor más limitante en la producción de zanahoria; actualmente en determinadas tierras muy infestadas, se ha tenido que abandonar el cultivo de zanahoria por algún tiempo, tal es el caso de el municipio de Villamaría, Colombia (3). En Guatemala las pérdidas por daño a la raíz de zanahoria pueden oscilar entre un 20 y 80 %. Los nematodos más comunes que afectan las raíz de zanahoria son:

A. Nematodo agallador de la zanahoria *Heterodera carotae* (Jones 1950)

Reino: Animalia
Phylum: Nematoda
Clase: Secernentea
Orden: Tylenchida
Sub-orden: Tylenchina
Familia: Heteroderidae
Sub-familia: Heteroderinae
Género: *Heterodera* (9).

Este nematodo fue descubierto por Jones en 1,950 en áreas de cultivo con niveles de infestación altos en Inglaterra. Después este mismo fue reportado en Holanda en 1,955 por Oostenbrink y en 1,958 fue detectado en Alemania por Sturhan D (20).

Este nematodo está ampliamente distribuido mas de lo que se creía al principio. Recientemente ha sido reportado en India y Polonia. Este forma agallas en forma de limón, tiene color café claro a color café rojizo. Estos son muy parecidos a *Heterodera cruciferae*. Tiende a producir una gran cantidad de huevos en una sustancia gelatinosa. Este nematodo parasita zanahorias cultivadas y silvestres. Una infestación severa puede provocar un crecimiento pobre y coloración pálida de la planta. Cuando su patogenicidad es evidente el cultivo de la zanahoria debe suspenderse durante varios años (20).

a. Sintomatología

Heterodera carotae entorpece el crecimiento de la raíz que presenta numerosas raíces secundarias en las que se encuentra el parásito, resultado de su ataque las plantas presentan follaje muy reducido y hojas de color rojizo, las raíces son pequeñas y en ocasiones bifurcadas, provocando una cabellera anormal de raicillas oscuras (14, 15).

B. Nematodo del nódulo de la raíz de zanahoria *Meloidogyne spp.*

Reino: Animalia.
Phylum: Nematoda.
Clase: Secernentea
Orden: Tylenchida
Sub-orden: Tylenchina
Familia: Meloidogunidae
Género: Meloidogyne (9).

En el cultivo de la zanahoria *Daucus carota* L., es muy común encontrar a la raíz reservoria atacada por el nematodo *Meloidogyne spp.* Este produce agallamientos y es frecuente también observar una serie de nódulos radiculares, que le provocan, inhibición de su crecimiento y forma, y hacia dentro de la raíz un “acorchonamiento”, las cuales no sólo privan a las plantas de sus nutrientes sino también deforman y disminuyen el valor comercial de las raíces (Figura 1) (22).

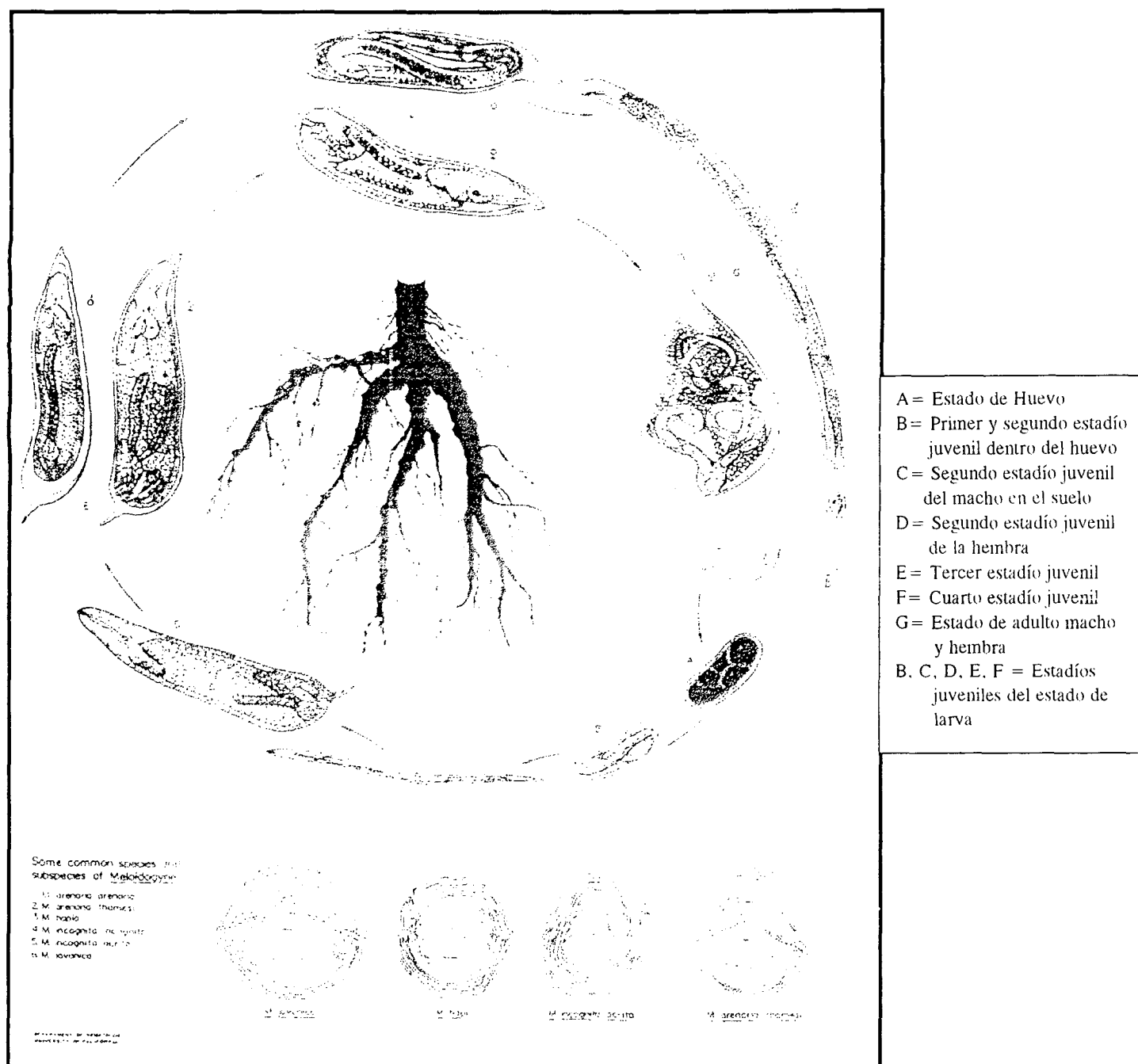


Fuente: National Academy of Science (22)

Figura 1. Agallamientos en raíces de zanahoria, *Daucus carota* L., producidos por el nematodo del nódulo radicular *Meloidogyne incógnita* (Kofoid & White, 1919).

a. Morfología

Los nematodos adultos, macho y hembra, del nódulo de la raíz son fáciles de distinguir morfológicamente (Figura 2). Los machos son vermiformes y miden aproximadamente de 1.2 a 1.5 mm de largo por 0.30 a 0.35 mm de diámetro. Las hembras tienen forma de pera y un tamaño aproximado de 0.40 a 1.30 mm de largo por un ancho de 0.27 a 0.75 mm. Cada hembra deposita aproximadamente 500 huevecillos en una sustancia gelatinosa que ella misma produce (1).



Fuente: Departamento de Nematología, Universidad de California (20).

Figura 2. Ciclo patológico del nódulo de la raíz producida por nematodos de *Meloidogyne* spp.

b. Ciclo de vida

i. Primer estadio juvenil del estado de larva (J1)

El primer estadio juvenil (J1) del estado de larva se desarrolla en el interior del huevecillo y después de sufrir la primera muda dentro de él se desarrolla en el segundo estadio juvenil (J2). Esta última forma emerge del huevecillo y llega al suelo, donde se desplaza hasta que encuentra una raíz susceptible (1).

ii. Segundo estadio juvenil del estado de larva (J2)

El segundo estadio juvenil del estado de larva es vermiforme y es la única etapa infectiva de este nematodo, después de la eclosión, los J2 migran a través del suelo atraídos por las raíces de las plantas de zanahoria, se agregan en la zona del meristemo apical, elongación celular y cerca del punto de emergencia de las raíces laterales. El juvenil del segundo estadio penetra a la raíz, lo cual involucra la acción mecánica del estilete y la acción de enzimas segregadas por las glándulas del esófago. Después de la penetración los J2 migran intercelularmente hasta alcanzar el floema primario o también las células indiferenciadas del parenquima adyacente, en donde se fijan e inician la alimentación. En respuesta a la alimentación, a los 3 días el tejido de la planta experimenta cambios en su morfología y fisiología, probablemente como respuesta a las secreciones del nematodo y a sustancias producidas por la planta. Algunas células del parenquima se transforman en células nodrizas, también llamadas células gigantes, que son células hipertróficas multinucleadas de donde el nematodo obtiene su alimento. La formación de éstas células es de vital importancia para que el nematodo continúe su desarrollo. El J2 adquiere forma aberrante (salchicha) deja de alimentarse y muda tres veces hasta convertirse en un macho o hembra adulto (3).

iii. Tercer estadio juvenil del estado de larva (J3)

El tercer estadio juvenil (J3) sufre una tercera muda y se desarrolla en el cuarto estadio juvenil (J4), en el cual es posible distinguirlo ya como un individuo macho o hembra. El macho de la cuarta etapa larvaria tiene aspecto vermiforme y se enrolla dentro de la tercera cutícula. Sufrir la cuarta y última muda y emerge de la raíz ya como macho adulto vermiforme, el cual vive libremente en el suelo (1).

iv. Cuarto estadio larvario (J4)

La hembra del cuarto estadio juvenil (J4) del estado de larva continúa aumentando de grosor y un poco más de longitud, sufre la cuarta y última muda y se desarrolla en una hembra adulta, la cual tiene

forma de pera. La hembra en estado adulto reinicia su alimentación en las mismas células gigantes y se mantienen sedentarias por el resto de su vida, continúa hinchándose y, ya sea fecundada o no por un macho, forma huevecillos, los que deposita en una cubierta gelatinosa protectora. Los huevecillos pueden ser depositados dentro o fuera de los tejidos de la raíz, dependiendo de la posición que tenga la hembra. Estos huevecillos pueden incubarse inmediatamente o invernar para incubarse en la primavera. El ciclo de vida del nematodo concluye a los 28 días a una temperatura de 27°C, pero tarda más tiempo a temperaturas más bajas o más altas. Cuando los huevecillos se incuban, el segundo estadio juvenil puede migrar del interior de la agallas hacia las partes adyacentes de la raíz y producir nuevas infecciones en la misma raíz, o bien salir de la raíz e infectar a las demás raíces de la misma planta o a las de otras plantas. El número mayor de nematodos del nódulo de la raíz comúnmente se encuentra en la zona de la raíz comprendida entre los 5 y los 25 cm por debajo de la superficie del suelo (1, 3).

c. Comportamiento

Los nematodos en general se mueven muy pocos centímetros al año por sus propios medios, sin embargo, *Meloidogyne spp.*, posee la capacidad de migrar grandes distancias, de 30 a 50 cm verticalmente en el perfil del suelo en muy pocos días. Además puede moverse a través de gradientes de concentración de agua que favorecen su supervivencia y capacidad de detectar a la planta huésped. En general los muestreos entre los 15 y 30 centímetros de profundidad son adecuados para la determinación de éste nematodo (3).

3.1.3 MÉTODOS DE CONTROL DE NEMATODOS

A continuación se presentan los métodos y técnicas de manejo relacionados con poblaciones de nematodos:

A. Cultivo y el tratamiento de tierras

Barbecho

Inundación

Cultivos de cobertura

Rotación de cultivos

Temporada de siembra

Abonos orgánicos

Destrucción de plantas infestadas

Plantas trampa y antagónicas (22).

B. Control Biológico

Por medio de hongos (Hyphomycetes y Zoopagales)

Protozoarios (*Duboscquia spp.*)

Otros nematodos (*Seinura spp.*, *Eudorylaimus spp.*)

Abonos orgánicos (Biofumigación es la técnica actual a partir de 1993) (22).

C. Control mediante resistencia de las plantas

Desarrollo de nuevas variedades (22).

D. Control por medio de factores físicos

Por medio de calor (calor seco, calor húmedo, agua caliente, vapor, solarización).

Por medio de baja temperatura

Por medio de electricidad

Por medio de irradiación

Por medio de ondas ultrasónicas

Por medio de la concentración osmótica (22).

E. Control químico

A través de moléculas sintéticas generadas por las industrias de agroquímicos, las cuales pueden derivar en un control rápido; sin embargo pueden tener algunos efectos nocivos al ambiente tal como se indica en el inciso 3.1.4

3.1.4 EFECTOS NOCIVOS DEL USO DE AGROQUÍMICOS

El uso de plaguicidas destruyen los equilibrios existentes en los sistemas agrarios al eliminar los enemigos naturales de plagas y enfermedades, y crea una dependencia de los agroquímicos y provoca su empleo (23).

Con la tendencia que existe para obtener nematicidas más estables, menos volátiles y de mayor duración, ha aumentado el peligro de los residuos excesivos en el suelo y las plantas. En general, los nematicidas muy volátiles dejan muy pocos residuos en el suelo, debido a que una parte de la sustancia se evapora y sale del suelo hacia la atmósfera y el remanente se transforma o lixivía con rapidez, de lo cual se origina contaminación atmosférica y a los mantos de agua en el subsuelo (22).

En un informe de la Academia de Ciencias de los Estados Unidos (23), se señala que 12 de 28 pesticidas químicos estudiados eran potencialmente responsables de cáncer (98 % de los producidos por agentes fitosanitarios), siendo los pesticidas más peligrosos: Maneb, Zineb, Benomilo, Folpet, Captafol, Carbofurán y Captán, y los tratamientos con mayor impacto ambiental: los dirigidos al control de mildius, oidius y nematodos. Ese mismo informe indica que el riesgo de contraer cáncer, por cada 10,000 habitantes con una edad media de 70 años es de 8.75 personas por consumo de tomate, 6.49 por consumo de carne de buey y 5.21 por consumo de patatas (23).

En 1993, se consumieron en todo el mundo 400 millones de toneladas de productos fitosanitarios, de los que 2.5 millones correspondían a pesticidas químicos con un coste de 20,000 millones de dólares, repartidos en 8,000 mezclas altamente tóxicas de las que al menos 200 son causa potencial de cáncer. Los países industrializados utilizan el 80 % de los pesticidas químicos, pero solo sufren en 1 % de las muertes por envenenamiento (40,000 muertes y 5 millones de personas afectadas directamente) (23).

3.1.5 LA TÉCNICA DE BIOFUMIGACIÓN PARA EL CONTROL DE NEMATODOS

La biofumigación se describe a continuación, por ser la técnica que se empleó para el control de nematodos asociados al cultivo de zanahoria *Daucus carota* L. en la presente investigación. El concepto "fumigación biológica" fue acuñado por primera vez en 1993 por Kirkegaard et al.(19), empleando el término biofumigación, el cual apareció por primera vez en la revista internacional Plant and Soil en 1994 (4).

A. Definición de biofumigación según (Bello 1998)

La biofumigación o fumigación biológica del suelo es un *método mediante el cual se aprovecha las sustancias volátiles (gases) y otros productos que resultan de la biodegradación de enmiendas orgánicas y residuos agroindustriales como fumigantes para el control de los organismos patógenos de vegetales*, que

pueden además, a través del reciclaje, ayudar a resolver serios problemas medioambientales que pudieran originar estos productos. Su eficacia se incrementa cuando se incorpora dentro de un sistema de manejo integrado de cultivos y se diferencia del uso de enmiendas orgánicas en las características de los materiales biofumigantes y en el método de aplicación (6).

B. Bases científicas de la práctica de biofumigación

En general la técnica de la biofumigación es relativamente nueva (menos de 10 años), por lo que se ha profundizado sólo en algunos aspectos de la técnica: A continuación se presenta un esquema del proceso en general (18) (Figura 3).

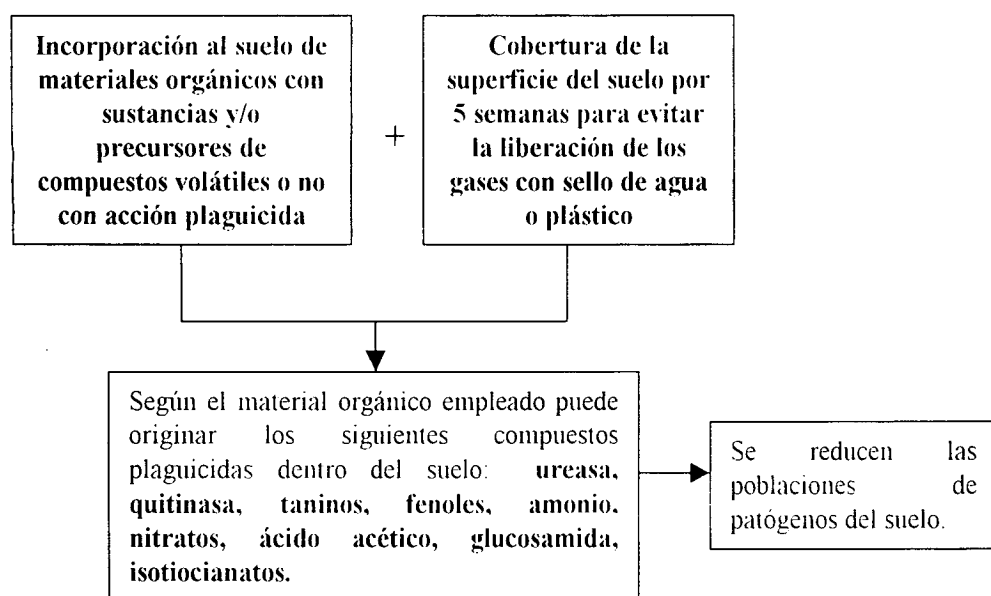


Figura 3. Proceso general de biofumigación (18).

Considerando el esquema anterior, se aprecia que la fumigación biológica o biofumigación recibe su nombre, puesto que en una buena parte de los casos las sustancias plaguicidas liberadas dentro del suelo son gases y porque se obtienen a partir de la biodegradación de materiales orgánicos. En tal sentido es importante reconocer que las sustancias plaguicidas que se obtengan para biofumigación dependerá de los materiales orgánicos que se empleen, por lo tanto se presenta una gran posibilidad de evaluar residuos de diversa índole que tengan características especiales en cuanto al contenido de sustancias plaguicidas (18).

a. Selección de subproductos orgánicos biofumigantes

El primer paso incluye una revisión teórica de los componentes nutritivos del material orgánico a emplear, es decir investigar si uno de los compuestos tiene acción plaguicida producto de su biodegradación, luego conocer los detalles del mecanismo de liberación de estos compuestos dentro del suelo. En segundo lugar se deben realizar evaluaciones de la dosis óptima por metro cuadrado del material vegetativo a incorporar dentro del suelo (18).

Actualmente y producto de los primeros 10 años de investigación en la técnica de biofumigación se ha determinado cierto número de materiales orgánicos que pueden emplearse y actualmente se están utilizando como materiales biofumigantes, estos son los siguientes (Cuadro 2).

Cuadro 2. Diversos materiales biofumigantes según su origen (11)

ORIGEN DE LOS MATERIALES BIOFUMIGANTES		
ANIMAL	VEGETAL	INDUSTRIAL
Estiércol de cabra	Residuos de brásicas	Residuos de industrias papeleras
Estiércol de oveja	Cascarilla y paja de arroz	
Estiércol de conejo	Residuos de tabaco	
Estiércol de gallina	Bagazo de caña triturado	
Residuos de crustáceos		

Las posibilidades para el desarrollo de las técnicas de biofumigación son tan diversas como los tipos de residuos disponibles para la preparación de enmiendas, además se estimula la actividad microbiana del suelo actuando como biomejorador. El gran problema es la alta variabilidad de los subproductos orgánicos, algunos tienen la posibilidad de acumular compuestos contaminantes y de incrementar los niveles de algunos patógenos. Por ello es necesario diseñar metodologías para la caracterización fitosanitaria y agronómica de los materiales a emplear, así como desarrollar técnicas correctas de aplicación en el campo. Para que la técnica de biofumigación resulte de bajo coste es importante utilizar residuos urbanos y agrícolas locales, próximos al lugar de aplicación (11).

b. Cobertura impermeabilizante del suelo

Resultado de la biofumigación, generalmente se obtiene dentro del suelo la producción de gases plaguicidas, los que por su naturaleza tienden a escapar del suelo, por lo que es necesario retener estos gases dentro del suelo a fin de que cumplan su función. Para ello actualmente se emplean dos estrategias como lo son el recubrimiento del suelo con plástico y el recubrimiento del suelo con sello de agua (mantener el suelo a capacidad de campo durante el tratamiento).

Ya sea recubrimiento del suelo con plástico o sello de agua, este deberá permanecer durante el tiempo que dure el tratamiento de la biofumigación como tal; se ha determinado que el tratamiento de biofumigación del suelo debe permanecer por un período de 5 semanas, por lo tanto el recubrimiento deberá durar el mismo tiempo. En la Figura 4 se presenta un esquema del tratamiento de biofumigación aplicado al suelo (18).



Figura 4. Perfil del suelo con material biofumigante + sello de agua o plástico.

c. Momento y duración de aplicación de la biofumigación

La biofumigación se debe aplicar después de las labores de preparación el terreno (arado y rastra), pero una semana antes del trasplante o siembra del cultivo agrícola de interés a campo definitivo; es decir seis semanas antes de la siembra puesto que la biofumigación deberá permanecer con recubrimiento de plástico o sello de agua durante 5 semanas para ejercer su efecto biofumigante, luego durante la sexta semana se remueve el suelo a fin de airearlo. Los materiales biofumigantes deberán ser triturados finamente, trocitos de 2 centímetros cuadrados, para que sean fácilmente biodegradables. Según el material que se emplee tendrá que tenerse cuidado con los detalles de los compuestos que libera y como es que estos se producen a fin de que su efecto sea en el suelo; esta información se ampliará en el marco referencial para los materiales que se utilizarán en la presente investigación (6, 18).

3.1.6 DIFERENCIAS ENTRE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO Y BIOFUMIGACIÓN

En el Cuadro 3, se presentan las diferencias entre materia orgánica aplicada al suelo y la biofumigación.

Cuadro 3. Diferencias entre incorporación de materia orgánica al suelo y biofumigación

ASPECTO	MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO	BIOFUMIGACIÓN
Definición	Constituye todos los organismos vivos o muertos, de origen animal o vegetal añadidos al suelo en descomposición.	Es un tratamiento para el control de patógenos del suelo que utiliza materia orgánica en descomposición en altas concentraciones y humedad a capacidad de campo (sello de agua al suelo) por un período de 5 semanas.
Volúmenes	3,000 kg/ha de material orgánico	50,000 kg/ha de material orgánico
Características	Su sola presencia en el suelo no controla patógenos	Controla patógenos por los altos volúmenes que liberan gases tóxicos que permanecen dentro del suelo durante el tratamiento (5 semanas)
Proceso	Aeróbico y Anaeróbicos	Anaeróbico
Descomposición	Se encuentra naturalmente en el suelo y su mineralización lleva un proceso de 1 a 2 años.	Es un tratamiento presiembra en el que se añade material orgánico previamente seleccionado para su descomposición bajo condiciones anaeróbicas por medio de un sello de agua, que permite la generación de gases dentro del suelo.
Funciones Físicas	Mejora la estructura del suelo, aumenta la porosidad, mejora las relaciones agua y aire y reduce la erosión ocasionada por el agua y el viento	A mediano plazo.*
Funciones Químicas	Constituirse en una fuente de nutrientes para las plantas.	Libera gases (amoníaco, metano, isotiocianatos) dentro del suelo.*
Funciones Biológicas	Fuente de nutrientes para microorganismos del suelo	Elimina microorganismos aeróbicos del suelo al producir gases tóxicos (amoníaco, metano, isotiocianatos).*
Ventajas	Mejora la estructura y fertilidad del suelo.	Mejora la estructura y fertilidad del suelo y además controla microorganismos durante las primeras 5 semanas de su aplicación.
Duración	Meses o años dentro del suelo	5 semanas

* La biofumigación dura 5 semanas (anaeróbico), después de éste período el material orgánico provee las mismas funciones físicas, químicas y biológicas al suelo que la materia orgánica como tal.

A. Función de la materia orgánica en la biofumigación y efectos sobre el ambiente

La función de la materia orgánica en el control de organismos fitopatógenos en el proceso de biodegradación, es una alternativa basada en los mismos principios en que funciona el bromuro de metilo con la única diferencia que los gases resultantes de la descomposición de materia orgánica continúan sobre los organismos del suelo (7).

Las ventajas para desarrollar las técnica de biofumigación son diversas por los tipos de mejoras tan variadas que se pueden preparar para hacer las enmiendas. La adición de grandes cantidades de materia orgánica en el suelo son necesarias. La biofumigación tiene un efecto similar al uso de productos fitosanitarios convencionales. La incorporación de materia orgánica dentro del suelo con la combinación de una cubierta plástica o de algún otro sistema apropiado para el propósito de atrapar y conservar la energía solar puede ser útil para retardar el efecto de los gases generados durante el proceso (7).

La biofumigación estimula la actividad microbial en el suelo. Cuando materia orgánica es añadida al suelo, una secuencia de cambios microbiológicos es producida, con una proliferación microbiológica inicial que depende de la fuente de energía añadida. El incremento de la actividad microbiológica produce un aumento en los niveles de enzimas en el suelo.

La Biofumigación no tiene efectos negativos sobre el medio ambiente o productos de consumo para la salud humana. No tiene alguna limitación para ser usada en una producción integrada o una agricultura ecológica. El gran problema de la biofumigación es la alta variabilidad de los subproductos orgánicos. Algunas correcciones orgánicas tienen el potencial de acumular componentes e incrementar los niveles de inóculos de algunos patógenos (7).

3.2 MARCO REFERENCIAL

3.2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La Finca Tegucigalpa se encuentra en el municipio de Pastores, Departamento de Sacatepéquez, a 500 metros del mismo municipio y a 4 Kilómetros. de la cabecera departamental (Figura 5).

Dista 48 kms. de la Ciudad capital por carretera asfaltada. La carretera que conduce hacia la Finca viene de Antigua Guatemala, pasando por el municipio de Jocotenango, y se dirige hacia Chimaltenango, siendo de gran importancia para dichos lugares ya que ésta conduce a la ciudad capital vía Antigua Guatemala. La Finca Tegucigalpa colinda con los siguientes lugares: Norte: Finca Santa Rosa, Pastores. Sur: Finca Santa Bárbara, Pastores. Este: Finca Santa Lucía, Jocotenango. Oeste: Municipio de Pastores .

3.2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-BIOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

A. Clima

Altitud: La finca Tegucigalpa está ubicada a una altitud de 1,600 msnm.

Temperatura: la temperatura oscila entre los 15 grados centígrados y 29 grados centígrados.

Precipitación pluvial: 1,500 mm (2).

Vientos: Van de Norte a Sur de Julio a Diciembre, y de Sur a Norte de Enero a Junio.

Zona de Vida: La zona de vida está clasificada como Bosque Montano Seco Subtropical. con clima Templado (10).

Humedad relativa: 45 % como promedio mínimo y 89% promedio máximo anual (2).

B. Recursos Naturales

a. **Hídricos:** La Finca cuenta con un nacimiento de agua el cual no tiene ningún uso, para abastecer el fertiriego a los cultivos se cuenta con un pozo mecánico.

b. **Forestales:** Dentro de las especies forestales más importantes están:

- i. Pino *Pinus spp.*
- ii. Ciprés *Cupressus lusitanica*
- iii. Aguacate *Persea americana*
- iv. Eucalipto *Eucaliptus spp.*

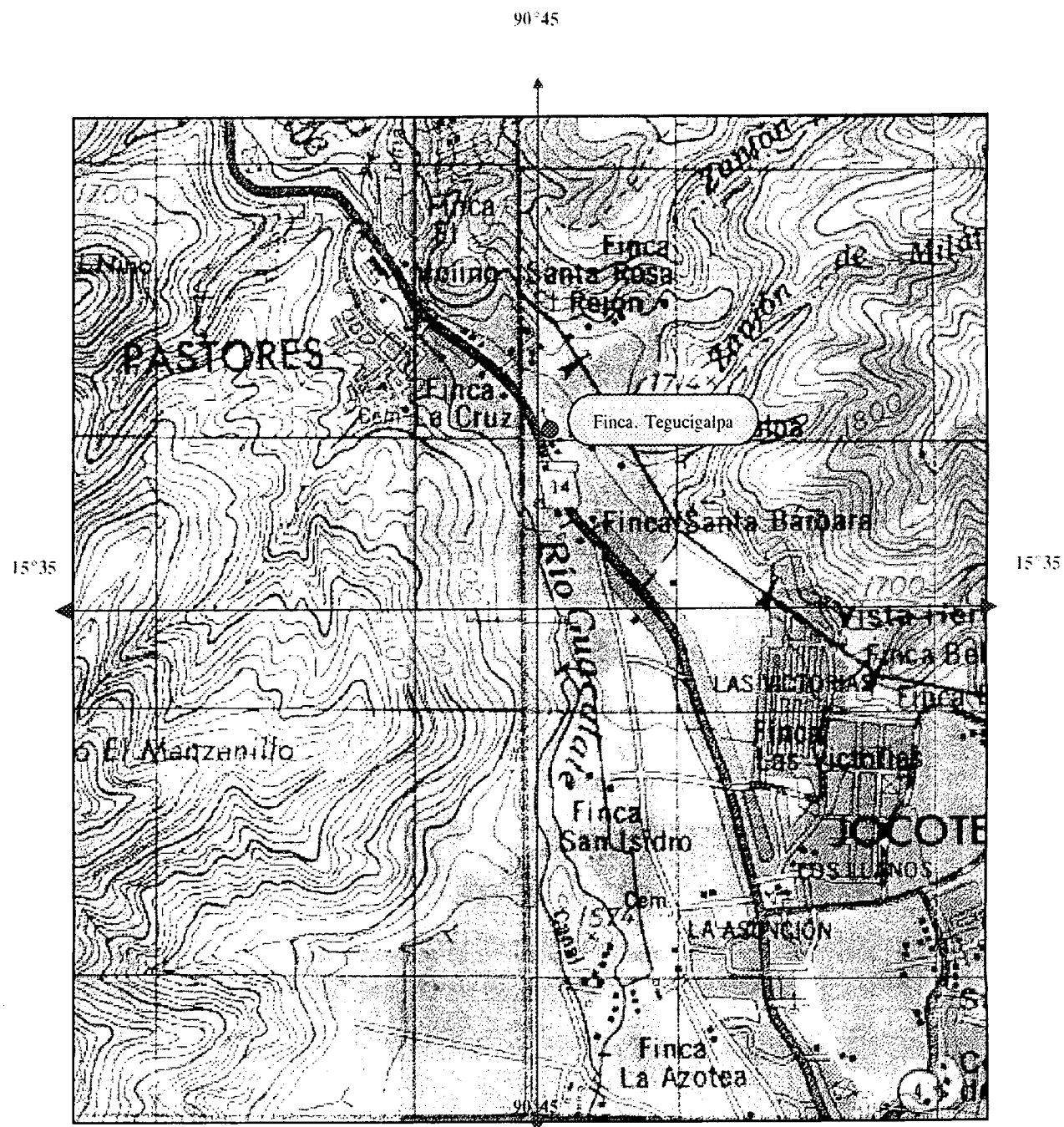


Figura 5. Mapa de ubicación de la Finca Tegucigalpa 1:250,00

c. **Flora:** Entre las especies de importancia económica están:

- i. Rosa *Rosa multiflora*
- ii. Snapdragon *Anthirrinium majus*
- iii. Delphinium *Delphinium elatum*
- iv. Aves del Paraíso *Strelitzia regina*
- v. Limonium *Limonium spp.*

d. **Fauna:**

- i. Ardilla *Sciarus linnaus*
- ii. Conejo *Oryctolagus cuniculus*
- iii. Taltuza *Heterogeomys hispin* (2).

e. **Relieve y Topografía:**

La mayoría del terreno es ligeramente ondulado con un 10% de pendiente, con un total del 60% del área. El terreno restante tiene una pendiente más pronunciada, siendo un área sin cultivar, existiendo en ésta árboles y arbustos (2).

f. **Suelos:**

Simons et al (24), indica que los suelos de ésta región pertenecen a la serie CAUQUE. Los cuales son: Profundos, bien drenados, desarrollados en un clima húmedo-seco sobre ceniza volcánica pomácea firme y gruesa. Ocupan relieves de ondulosos a inclinados a altitudes de 1,500-1,600 MSNM en la meseta central de Guatemala.

g. **Perfil del suelo:**

Cauque franco. El suelo superficial, a una profundidad de alrededor de 15 cms. es franco o franco arcilloso-arenoso, friable, de color café oscuro. La estructura es granular fina y la reacción es mediana a ligeramente ácida, pH alrededor de 6.

3.2.3 ACTIVIDAD PRODUCTIVA DE LA FINCA TEGUCIGALPA

La empresa Pamputik se dedicó inicialmente a la producción de flores de exportación tales como rosas, ave de paraíso, limonium (1990-1998), actualmente se dedican a la producción de hortalizas tales como zanahoria, chile pimiento, tomate, lechuga romana, rábano, pepino, etc. El tal sentido los suelos son de uso agrícola, por lo que están sujetos a los agentes patógenos que se desarrollan en una explotación intensiva de cultivos.

3.2.4 BRÓCOLI COMO MATERIAL BIOFUMIGANTE

El brócoli es uno de los materiales biofumigantes que se evaluaron en la presente investigación por lo que en los párrafos siguientes se justificará con bases científicas la razón de su empleo para el control de nematodos del suelo.

A. Elemento Biofumigante en Brócoli y sus Mecanismos de Liberación y Acción

La inflorescencia de brócoli contiene la presencia de glucosinolatos aproximadamente en un 1 a 2 %; los glucosinolatos también llamados heterosidos sulfocianogenéticos o heterosidos azufrados son heterosidos, mayoritariamente glucósidos, que contienen azufre y se sintetizan en la planta de brócoli a partir de diversos aminoácidos, lo que da lugar a diferentes estructuras químicas (18, 26)

Los glucosinolatos se localizan en las vacuolas de las células de la planta de brócoli y pueden ser hidrolizados en la misma planta por enzimas que se localizan en el citoplasma de las células: las enzimas que hidroliza a los glucosinolatos son las mirosinas (tioglucosidasas) que al ejercer su acción enzimática dan como producto resultante los isotiocianatos volátiles denominados sevenoles (16, 26).

En la figura 6 se presenta la localización de los precursores de los isotiocianatos volátiles en el interior de la célula vegetal de plantas de brócoli.

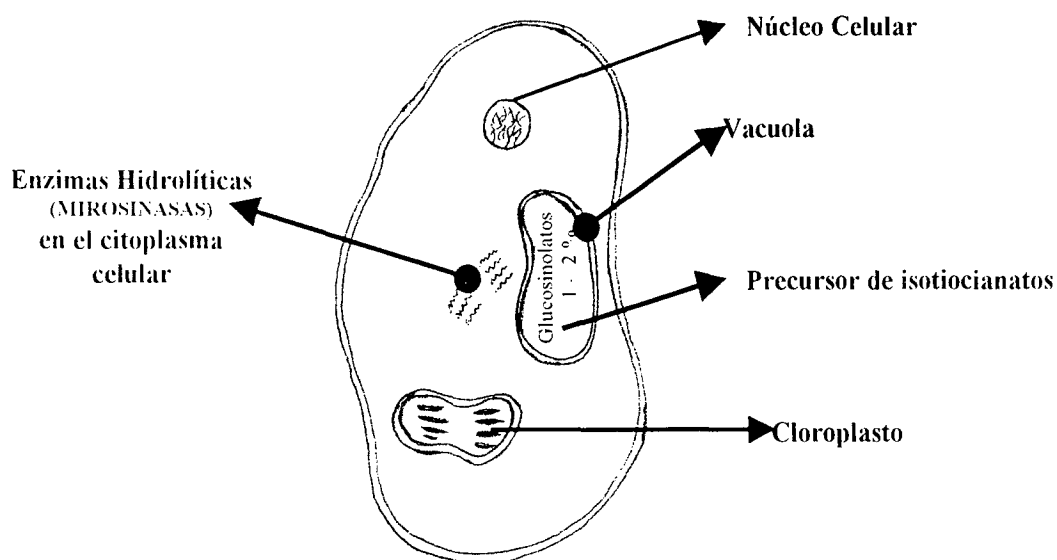


Figura 6. Localización de los precursores de los isotiocianatos en la célula vegetal (18).

Como se aprecia en la figura anterior los glucosinolatos se encuentran dentro de la vacuola, aislados de la acción de las mirosinasas, por lo que normalmente la planta de brócoli no está liberando isotiocianatos. Cuando la planta de brócoli se corta en pedazos pequeños (2 cm^2), no solo se rompen las paredes y membranas celulares, sino que también las vacuolas, liberando los glucosinolatos hacia el citoplasma de la célula, de tal forma que reaccionan formando un nuevo compuesto, los isotiocianatos tal como se muestra en el esquema siguiente (18) (Figura 7).

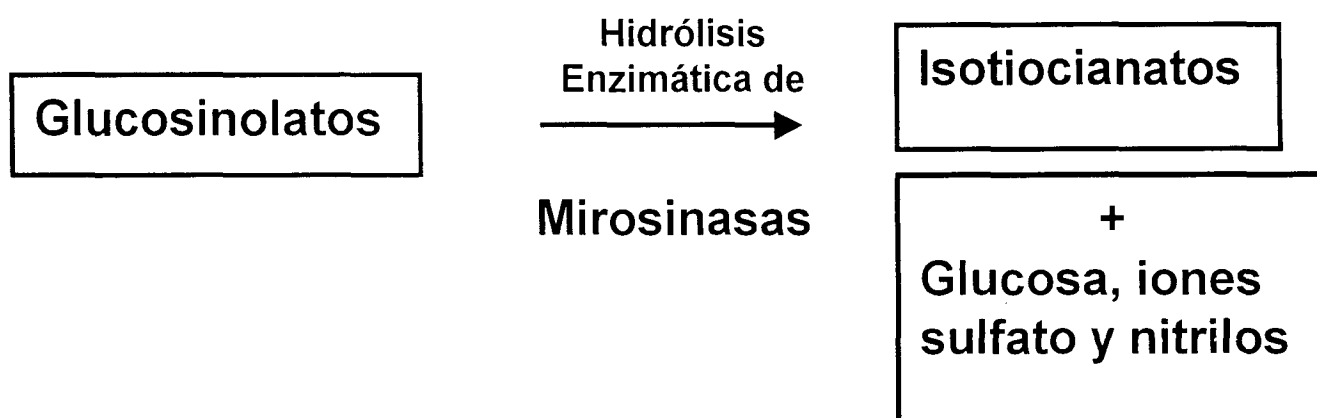


Figura 7. Transformación de glucosinolatos en isotiocianatos

En general este mismo proceso natural de liberación de isotiocianatos volátiles se da en todas las plantas que producen en las vacuolas sustancias de desecho como los glucosinolatos; se ha determinado que además del brócoli otras plantas que producen isotiocianatos mediante la anterior reacción son géneros de

las familias Capparidaceae y Resedaceae así como algunos géneros de la familia Brassicaceae, principalmente el género Brassica, los vegetales que contienen glucosinolatos al reaccionar le proporcionan a la planta (16, 18, 26).

Además de los isotiocianatos volátiles se producen moléculas de glucosa, inoes sulfato y nitrilos; sin embargo el interés nuestro se centra en los isotiocianatos por ser los gases que ejercen acción nematicida dentro del suelo (6).

Los isotiocianatos son gases que al ser liberados dentro del suelo son activos contra nematodos, insectos del suelo, malezas y la gran mayoría de los hongos del suelo. El modo de acción de los isotiocianatos consiste en inactivar el grupo $-SH^{-1}$ (sulfidrilo) de las enzimas de los patógenos, lo cual causa la desnaturalización de las proteínas y enzimas de las células del patógeno (1).

Debe tenerse cuidado al incorporar los residuos de brócoli al suelo, puesto que al momento de realizar el cortado fino se inicia la reacción que forma isotiocianatos, la cual continua dentro del suelo al ser degradado en su totalidad por los microorganismos; es decir que de ser posible el brócoli debe ser transportado del centro de acopio hasta el terreno donde se realizará la biofumigación y es aquí donde se debe proceder a picar el brócoli en finos pedazos. Por otro lado otra consideración importante que no se ha considerado en los trabajos anteriores es que el brócoli debe ser cortado a bajas temperaturas, es decir el brócoli debe estar frío puesto que los glucosinolatos por poseer enlaces de azufre tienden a volatilizarse antes de reaccionar con la mirosinasa y de esta manera se estará obteniendo menor cantidad de isotiocianatos dentro del suelo (18). En la presente investigación realizada en la finca de la empresa Pamputik, se tomaron en cuenta estas dos consideraciones importantes, puesto que el brócoli fue llevado en contenedores refrigerados del centro de acopio ubicado en Chimaltenango que tuvo a bien proporcionar los desechos de brócoli.

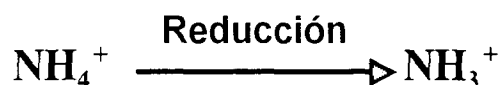
3.2.5 GALLINAZA COMO MATERIAL BIOFUMIGANTE

La gallinaza es el otro material biofumigante que se empleó en la presente investigación y la justificación de su empleo se describe en los párrafos siguientes:

En la descomposición dentro del suelo de la gallinaza se suscitan una serie de reacciones que originan diversos compuestos, pero en el que se centra el interés desde el punto de vista de la biofumigación es el amoníaco producido ya que este tiene acción nematicida. Se ha estudiado que durante la fase inicial de descomposición del estiércol de gallina fresco dentro del suelo se liberan un sinnúmero de sustancias volátiles y ácidos orgánicos que producen una acción nematicida que básicamente produce la asfixia de los patógenos del suelo. El amoníaco liberado dentro del suelo a partir de la gallinaza se debe a que el estiércol de gallina fresco contiene altas cantidades de nitrógeno en diversas formas principalmente amonio que se transforma en amoníaco (12, 18).

Es importante recalcar que para que el estiércol de gallina sea utilizado como material biofumigante es necesario que se encuentre fresco a fin de captar dentro del suelo la mayor cantidad de amoníaco posible; para confirmar este hecho basta con visitar una granja avícola y verificar que durante el proceso de recolección del estiércol de gallina ya sea de forma manual o automática a los trabajadores se les provee de mascarillas por el exceso de amonio que se está reduciendo a amoníaco, el cual es un gas que se libera al ambiente (12, 18).

La reacción general a partir de la cual por un proceso de reducción se produce amoníaco a partir de amonio se presenta a continuación:



El amoníaco (NH_3^+) es un gas que ha sido reducido y que es altamente tóxico a los organismos vivos, razón por la cual cuando se emplea la forma comercial de gallinaza como fertilizante orgánico al suelo esta debe de tener un procesamiento a fin de liberar todo el amoníaco y otros gases presentes dentro de ella para que no plasmolizen las células de la planta. El fundamento, entonces, desde el punto de vista de la biofumigación es el aprovechamiento del amoníaco liberado dentro del suelo a partir de el estiércol de gallina en fresco, ya que en este caso no causa problemas al cultivo puesto que se aplica durante 5 semanas cuando la plantación no está establecida y se le aplica sello de agua para retener los gases dentro del suelo, luego de las cinco semanas se debe airear el suelo lo suficiente para liberar el exceso de amoníaco y finalmente se procede a la siembra o trasplante del cultivo de interés (12, 18).

3.2.6 INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON LOS FITONEMATODOS Y SU MANEJO

A. A nivel de laboratorio para identificar compuestos antimicrobianos en las plantas.

En Perú, la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), la Universidad de Munich (LMU) y el Centro Internacional de la Papa (CIP) iniciaron un proyecto con una duración de 3 años (enero de 2000 a diciembre de 2002), dirigido por el Dr. Erick Cosío Caravasi con el fin de identificar compuestos antimicrobianos en raíces y tubérculos de plantas de cultivo andinas, tales como mashua *Tropaeolum tuberosum*, maca *Lepidium meyenii*, olluco *Ullucus tuberosum* y oca *Oxalis tuberosa*, se pretende cuantificar la actividad antimicrobiana de estos compuestos en patógenos generales. A la fecha se ha logrado determinar la presencia de glucosinolatos (precursores de los isotiocianatos) en los tubérculos de mashua, la localización tisular de estos compuestos si bien es cierto que están repartidos en todo el tubérculo, la zona de mayor concentración es la externa, lo cual coincide con un papel defensivo por parte de estos compuestos (8).

a. Actividades actuales

- i. Se está trabajando en la cuantificación, tanto de glucosinolatos como de isotiocianatos libres y la forma más apropiada de provocar la reacción.
- ii. Para la segunda etapa del proyecto titulada "Ingeniería metabólica de la biosíntesis de glucosinolatos en mashua, su relevancia para la protección de la planta contra herbívoros y patógenos". Se busca caracterizar dos enzimas claves de la biosíntesis de glucosinolatos y bloquear la vía por supresión transcripcional de manera que se obtengan plantas libres de glucosinolatos a fin de comparar su efecto sobre la resistencia de plagas en el campo con plantas con alto contenido de glucosinolatos.
- iii. Se está estudiando el efecto del 4-metoxibencilisotiocianato en insectos y plagas de la papa, especialmente contra polillas, gorgojo, mosca blanca, nematodos y otras plagas del suelo (8).

B. A nivel de campo con diversos materiales biofumigantes

En fecha reciente (enero a junio del 2000) se desarrolló en los campos experimentales del ICTA en la Alameda Chimaltenango un ensayo para evaluar la técnica de biofumigación utilizando algunos materiales orgánicos de origen animal y vegetal como agentes biofumigantes para el control de malezas y nematodos del suelo, y su comportamiento sobre la fertilidad del suelo.

Los mejores rendimientos de arveja china se obtuvieron con el tratamiento de gallinaza + sello de agua (6.43 tm/ha) y residuos de brócoli + sello de agua (6.03 tm/ha), el menor rendimiento se obtuvo en el testigo 3.43 tm/ha de vainas de arveja china. En ningún tratamiento se aplicó fertilizante químico (25).

La cantidad de nematodos de *Meloidogyne spp.* antes de la siembra de la arveja fue de 100 por cada 100 ml de suelo y de *Rhabditis spp.* (No es parasítico) de 670 nematodos por 100 ml de suelo; al momento de la cosecha en los tratamientos Gallinaza + sello de agua y residuos de brócoli + sello de agua no se encontró nematodos de *Meloidogyne spp.*, sin embargo la población de *Rhabditis spp.* se incrementó, lo cual es de alto beneficio para los suelos, se observa una microflora abundante y de beneficio para la planta (25).

Respecto a la fertilidad del suelo a medir los niveles de P y K, los tratamientos de gallinaza y residuos de brócoli más sello de agua, en relación al testigo se incrementaron notablemente (10 y 150 % respectivamente); el pH del suelo se redujo en ambos casos. El porcentaje de materia orgánica únicamente se incrementó en el tratamiento empleando residuos de brócoli de 3 a 3.7 % (25).

En el Congreso de la Organización de Nematólogos de los Trópicos Americanos (ONTA), que tuvo lugar en San Juan de Puerto Rico en junio de 1999 se presentaron los resultados de varias investigaciones sobre el control de nematodos del suelo mediante la técnica de biofumigación dentro las cuales se mencionan las siguientes:

- i. Arias *et al.* 1999 (5) en cultivos de pepino y acelga en la comunidad de Madrid, afectados por *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919), emplearon residuos de champiñón a dosis de 5 kg/m² como material biofumigante, observando una disminución de las poblaciones del nematodo y un incremento en la producción en las parcelas con tratamiento de biofumigación.
- ii. Duniway *et al* (13) 1999 en California encuentran que la materia orgánica con alto contenido de nitrógeno, restos de sangre, plumas y restos de pescado, 8, 4 y 8 toneladas respectivamente, reduce la incidencia de *Verticillium dahliae* en un 95 % cuando se incorpora 7 semanas antes de plantar.

3.2.7 DESCRIPCIÓN DE LA ZANAHORIA CULTIVADA Y REQUERIMIENTOS DE CALIDAD

Se cultivó la variedad de zanahoria Bangor bajo condiciones de campo abierto empleando dos fuentes de materia orgánica como agentes biofumigantes.

La planta de zanahoria cultivada tiene las características siguientes: ciclo vital de 120 días con un rendimiento de 2.5 kg/m²,. Se distribuyen en el campo 45 a 48 plantas por metro lineal. Proporciona zanahorias de 16 a 18 centímetros de largo por 3 a 4 centímetros de ancho.

La empresa Pamputik requiere que las zanahorias reúnan los siguientes requisitos de calidad:

- A. Firmes (no flácidas).
- C. Rectas con un adelgazamiento uniforme (ni dobles o triples por nematodos o con agallas alrededor de la parte externa).
- D. Color naranja brillante.
- E. Ausencia de residuos de raicillas laterales.
- F. Ausencia de “corazón verde”, por exposición a la luz solar durante la fase de crecimiento.
- G. Bajo amargor por compuestos terpénicos.
- H. Alto contenido de humedad y azúcares reductores para consumo en fresco.

3.2.8 METODOLOGÍA PARA EL CONTEO DE NEMATODOS

Para el conteo de nematodos del suelo se empleó la metodología de tamizado centrifugado, la cual consiste en los siguientes pasos:

- A. Se coloca en una palangana 100 ml de suelo y agua.
- B. Se mezcla el suelo y agua con la mano, deshaciendo todos los terrones, se agita fuertemente con la mano la mezcla.
- C. Inmediatamente después de agitar se vacía el contenido a través de un tamiz de malla de 65 mesh.
- D. Se resuspende en agua el filtrado del tamiz de 65 mesh y luego de agitar se deja reposar por 30 segundos, se vacía el contenido a través de un tamiz de 200 mesh, teniendo cuidado de no agitar la muestra. La parte retenida en el tamiz se recolecta cuidadosamente usando un tamiz de 325 mesh.
- E. Con el concentrado en un vaso de precipitado se procede a llenar los tubos de la centrífuga.
- F. Se acciona la centrifugadora por un período de 30 segundos a un minuto a 3,000 revoluciones por minuto.

- G. El sobrenadante obtenido de los tubos se traslada a un beaker de 25 ml.
- H. Del sobrenadante se extraen 2 ml y se colocan en una cámara de conteo de nematodos para su observación, el cual se coloca bajo el estereoscopio.
- I. El número promedio de nematodos fitoparásitos por 2 ml de sobrenadante se relaciona con el volumen inicial de suelo infestado (100 ml) y se obtiene así la población de nematodos por 100 ml de suelo (1).

Para el conteo de nematodos en raíz de zanahoria, se empleo la metodología de embudo de Baerman en cámara de rocío que consiste en los siguientes pasos:

- A. Se prepara un embudo de plástico, adicionalmente en el extremo inferior un pedazo de tubo de hule de 3 pulgadas. En la parte ancha del embudo se coloca una "canasta" de pvc. Se coloca unas pinzas en el pedazo de hule.
- B. Se llena el embudo con agua y se abren las pinzas para eliminar aproximadamente 20 cc de agua con el objeto de evitar que queden burbujas de aire.
- C. Sobre la "canasta" de pvc, se coloca una cubierta doble de papel filtro, evitando su perforamiento o rotura y que los bordes del papel no queden colgando hacia fuera de la canasta.
- D. Se colocan 10 gramos de material vegetal.
- E. Ajustar con agua el volumen requerido dentro del embudo, de tal forma que quede sumergido aproximadamente 0.5 a 1 cm del fondo de la "canasta" de pvc. Este nivel se debe mantener constantemente agregando agua.
- F. Para prevenir la excesiva evaporación se coloca el embudo de baerman dentro de la cámara de rocío que provee de humedad permanentemente.
- G. Después de 72 horas de estar el embudo de Baerman con el material vegetal dentro de la cámara de rocío se toman 10 ml de agua del embudo abriendo las pinzas y recolectando la muestra en un beaker de 25 ml.
- H. Finalmente se procede al conteo de nematodos por medio de un vidrio cuenta nematodos y el auxilio de un estereoscopio (1).

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Evaluar los residuos de brócoli y gallinaza como agentes biofumigantes y su efecto controlador de poblaciones de fitonematodos en el cultivo de zanahoria *Daucus carota* L.

4.2 ESPECÍFICOS

- 4.2.1 Determinar el efecto de residuos de brócoli en la reducción de poblaciones de fitonematodos presentes en suelo cultivado con zanahoria.
- 4.2.2 Determinar el efecto de la gallinaza en la reducción de poblaciones de fitonematodos presentes en suelo cultivado con zanahoria.
- 4.2.3 Determinar el efecto de los biofumigantes sobre el rendimiento (kg/ha) y sanidad de la zanahoria.
- 4.2.4 Proponer una alternativa rentable al uso de nematicidas químicos.

5. HIPÓTESIS

- 5.1 Ha: Al menos un tratamiento de biofumigación evaluado reduce las poblaciones de nematodos del suelo.
- 5.2 Ha: Al menos un tratamiento reportará mayores rendimientos de raíz de zanahoria.
- 5.3 Ha: De los siete tratamientos de biofumigación, por lo menos uno ofrece una rentabilidad mayor a la de los demás.

6. METODOLOGÍA

6.1 UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

El experimento se ubicó en la Finca Tegucigalpa de la empresa Pamputik, la cual se encuentra en el municipio de Pastores, Departamento de Sacatepéquez, a 500 metros del mismo municipio y a 4 Km de la cabecera departamental, con una altitud de 1,600 metros sobre el nivel del mar.

6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Se evaluaron seis tratamientos de biofumigación para el control de nematodos del suelo en el cultivo de zanahoria más un testigo absoluto, al cual no se le añadió ningún residuo orgánico biofumigante (brócoli y/o gallinaza), ni producto químico para el control de nematodos.

Los siete tratamientos a partir del momento de la siembra en campo recibieron el mismo manejo agronómico como se detalla en el inciso 6.4. Para conformar los seis tratamientos biofumigantes se emplearon diversas combinaciones de gallinaza y brócoli picada, incorporados al suelo.

Los seis tratamientos de biofumigación tuvieron una duración de cinco semanas para lo cual se siguió el siguiente procedimiento: se incorporaron los residuos orgánicos de cada tratamiento dentro del suelo y posteriormente se procedió a regarlos hasta capacidad de campo a fin de crear un sello de agua que impidiera la liberación hacia la atmósfera de los gases producidos dentro del suelo para que ejercieran su acción nematicida. Luego de transcurridas las cinco semanas que duró cada tratamiento se procedió a remover suficientemente el suelo a fin de airearlo para que los gases aún presentes se liberaran hacia la atmósfera y no interfirieran con la germinación y emergencia de las plántulas de zanahoria.

En el cuadro 4, se presenta la composición de cada tratamiento biofumigante:

Cuadro 4. Tratamientos Biofumigantes Evaluados

TRATAMIENTO	AGENTES BIOFUMIGANTES INCORPORADOS AL SUELO CON SELLO DE AGUA	
	Gallinaza (Kg/m ²)	Residuos de Brócoli (Kg/m ²)
1	5	0
2	0	5
3	4	1
4	3	2
5	2	3
6	1	4
7	Testigo sin Biofumigación	

Como se aprecia en el Cuadro 4, de los tratamientos uno al seis son tratamientos biofumigantes, en los tratamientos del tres al seis se incorporaron combinaciones de gallinaza y brócoli conjuntamente, en tanto que en el tratamiento uno se incorporó solo gallinaza y en el dos solo brócoli; en los primeros seis tratamientos luego de incorporar el material biofumigante se regó a capacidad de campo y se mantuvo así durante cinco semanas. El tratamiento siete correspondió al testigo absoluto, es decir que no se empleó ninguna medida de control de nematodos del suelo, por lo demás el manejo fue igual en todos los tratamientos.

6.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño que se utilizó es el de bloques al azar con cuatro repeticiones y siete tratamientos (incluyendo al testigo), lo que hace un total de 28 unidades experimentales. Se utilizó este diseño a fin de minimizar la influencia en el suelo debido a la pendiente. Se dejó un metro de distancia entre cada unidad experimental a fin de evitar que los gases de una unidad experimental se movilizaran hacia las contiguas, además de ello la parcela bruta considera un efecto de borde de un metro en cada extremo y de 0.37 m a los lados. Importante es considerar que entre unidades experimentales el suelo estaba más compacto que dentro de la unidad experimental para evitar la movilización de los gases tóxicos de una unidad experimental hacia otra.

6.3.1 MODELO ESTADÍSTICO

$$Y_{ij} = U + B_i + R_j + E_{ij}$$

Donde: $i = 1, 2, \dots, b$ tratamiento de biofumigación

$j = 1, 2, \dots, r$ repeticiones

- Y_{ij} = Variable de respuesta de la ij -ésima unidad experimental
 U = Media general del parametro evaluado.
 B_i = Efecto del i -ésimo tratamiento de biofumigación
 R_j = Efecto de la j -ésima repetición.
 E_{ij} = Efecto del error experimental asociado a la ij -ésima unidad experimental.

6.3.2 DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN EL CAMPO

La distribución de los tratamientos en el campo en sus respectivos bloques se muestra a continuación en la Figura 8.

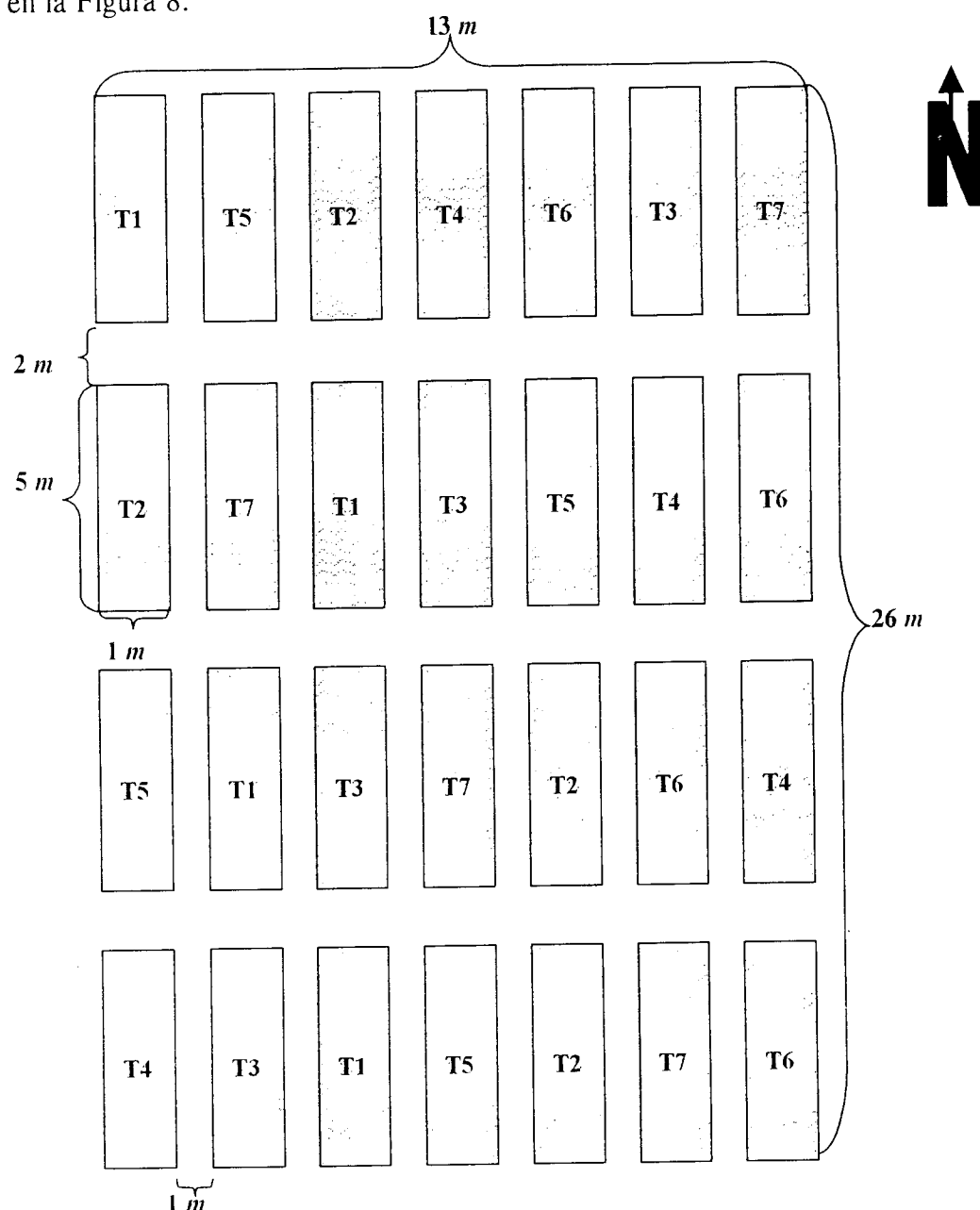


Figura 8. Distribución de los Tratamientos en el Campo

6.3.3 DETALLE DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL

Cada unidad experimental tuvo un área bruta de 5 m² (5 x 1 m) y un área neta de 1.50 m² (3 x 0.50 m). En cada parcela bruta se cultivaron 4 surcos de 5 metros de largo de zanahoria a una distancia de 0.25 m entre surcos. Después del raleo la distancia entre plantas fue de 0.04 m, que equivale a 125 plantas por surco y 500 por parcela bruta. La parcela neta tuvo 150 plantas de zanahoria distribuidas en los dos surcos centrales. Los detalles de la unidad experimental se presentan en la Figura 9.

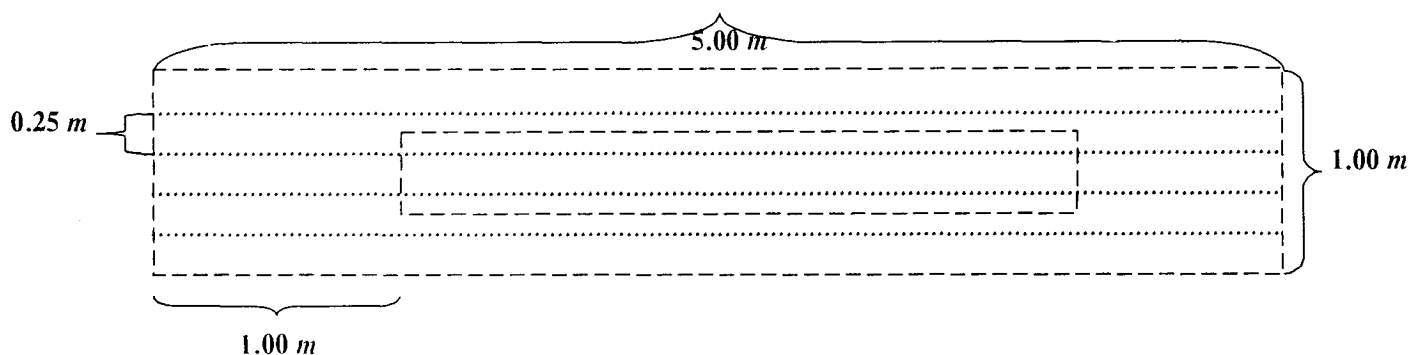


Figura 9. Dimensiones de la Unidad Experimental

6.4 MANEJO DEL ENSAYO

El manejo experimental se divide en dos componentes: el manejo agronómico que incluye todas las labores a realizar durante el ciclo del cultivo en forma normal; el manejo experimental que incluye todos los aspectos relacionados con la aplicación de la técnica de biofumigación al suelo.

6.4.1 MANEJO AGRONÓMICO

A. Labores Presiembra

- Se limpió el área experimental de los residuos de la cosecha anterior, tanto follaje como de tubérculos.
- Se aró el terreno.
- Se pasó el tractor para ir formando los tablones con los discos.
- Se pasó el rotavator para levantar los tablones de un metro de ancho.
- Se trazaron las unidades experimentales de acuerdo a la Figura 6.
- Se niveló el tablón a lo largo y ancho del mismo.

B. Siembra

Se trazaron las líneas de siembra de cultivo (surcos) con pita a lo largo de la unidad experimental a una distancia entre surcos de 0.20 m. La semilla se aplicó dentro del surco a una distancia de dos centímetros de forma manual, lo que equivale a dos millones de semillas por hectárea.

C. Raleo

El raleo se efectuó a los 30 días después de la siembra, tratando de dejar una distancia entre plantas de 0.04 m. Se ralearon las plantas menos vigorosas dentro de los surcos.

D. Control de Malezas

Después de sembrada el área y habiendo una buena humedad del suelo se realizó una aplicación de Linurón (Afalón) a razón de 100 cc. por bomba de 4 galones en todos los tratamientos. No fue necesario realizar una nueva aplicación del herbicida puesto que no se presentaron malezas en competencia con la zanahoria.

E. Control Fitosanitario

Se usaron fungicidas de manera alterna: Oxiclورو de cobre (Cupravit), Propineb (Antracol), Clorotalonil (Bravo), Mancozeb (Mancozeb) como preventivo de tizón del tallo Alternaria dauci, las aplicaciones se realizaron cada 8 días.

F. Fertilización

Foliar: A partir de los 30 días de germinadas las plantas se aplicó a intervalos de cada 8 días Bayfolán Forte, alternando con Nitrato de Potasio (a todos los tratamientos).

G. Riego

Durante los primeros 15 días después de la siembra el riego se realizó por aspersión: luego se colocaron dos líneas de manguera (1 manguera para dos hileras) haciendo dos riegos por semana de dos horas y medias de duración cada uno.

H. Cosecha

La cosecha se realizó manualmente a los 120 días después de la siembra. A las raíces se les lavó tres veces en pilas de cemento hasta que quedaron totalmente limpias, luego se depositaron en cajas de plástico con capacidad de 13.6 Kilogramos.

6.4.2 MANEJO EXPERIMENTAL

A. Obtención de los Materiales Orgánicos Biofumigantes

La gallinaza se adquirió en las granjas de pollo de forma cruda (fresca, no procesada) y se trasladó al área del experimento; el brócoli que se empleó es el de rechazo de los campos de los agricultores circunvecinos al área de estudio que se trasladaron del centro de acopio en un contenedor refrigerado.

B. Procesado de los Materiales Orgánicos

Los residuos de brócoli se picaron finamente para mezclarse con la gallinaza en las proporciones correspondientes según el Cuadro 5. Importante es mencionar que el brócoli fue picado directamente en el área experimental a fin de evitar la volatilización de los isotiocianatos que inician su formación desde el momento en que se rompen las vacuolas de las células y los glucosinolatos se disgregan en el citoplasma reaccionando con la mirosinasa; además es importante mencionar que el brócoli estaba frío para minimizar las pérdidas por volatilización.

C. Muestreo Nematológico en Suelo

Se realizaron seis muestreos nematológicos para determinar la población de nematodos del suelo antes y durante el ciclo de cultivo de la zanahoria. Las fechas de muestreo se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Fechas de los muestreos nematológicos de suelo

	Muestreos de nematodos en suelo del área experimental, 2001					
	1	2	3	4	5	6
Fecha	21 mayo	3 julio	1 agosto	30 agosto	28 septiem	27 octubre
Ciclo de la Zanahoria		Siembra	30	60	90	120
Biofumigación	Del 21 mayo – 26 junio; aireación del 27 junio al 2 de julio					

Del cuadro anterior es importante señalar que se realizó un muestreo en cada unidad experimental antes de la aplicación de los tratamientos, luego el segundo se realizó al final la biofumigación y después de una semana de airear el suelo; seguidamente se realizó cada 30 días.

a. Número de muestras

Se muestreó cada una de las unidades experimentales distribuidas en los cuatro bloques, que correspondieron a un mismo tratamiento a una profundidad de 0 – 25 centímetros; en cada muestreo se obtuvo un total de 28 muestras de suelo las cuales se analizaron por separado.

b. Presión de muestreo

La presión de muestreo fue de 2,000 sub-muestras por hectárea, lo cual equivale a una muestra por cada 5 m² correspondiente a cada unidad experimental.

c. Obtención y análisis de las muestras de suelo

Las muestras se tomaron al azar dentro de cada unidad experimental, a la profundidad descrita. Cada una de las 28 muestras se colocaron en bolsas plásticas, etiquetadas con la siguiente información:

- i. Número de Tratamiento y unidad experimental.
- ii. Número de examen nematológico

Las muestras de suelo se trasladaron al Centro de Diagnóstico Parasitológico de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. El diagnóstico de nematodos en suelo se realizó mediante el método tamizado-centrifugado, para lo cual se midieron 100 gramos de solución de suelo, los cuales se filtraron por tamices de 100, 200 y 325, el filtrado se centrifugó por 1 minuto a 3000 revoluciones por minuto con una solución azucarada, luego se extrajeron 2 ml para realizar la identificación de los géneros presentes y el conteo de cada género.

D. Muestreo Nematológico en Raíces

Se realizaron cuatro muestreos de nematodos en raíces, tal como se indica en el cuadro 6.

Cuadro 6. Fechas de muestreos nematológicos de raíz

		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4
Fecha	3 julio	1 agosto	30 agosto	28 septiem	27 octubre
Ciclo de la Zanahoria	Siembra	30	60	90	120

En cada muestra se analizaron 10 gramos de raíces por unidad experimental, la extracción de los nematodos de las raíces de zanahoria se realizó en la cámara de rocío dentro de la cual se colocaron los embudos de Baerman, es decir que los nematodos que se consideraron en el análisis fueron los juveniles del segundo estadio.

E. Aplicación de los Materiales Biofumigantes al Suelo

En cada unidad experimental se incorporó cada tratamiento biofumigante a razón de cinco Kg/m², esto se efectuó luego de arar y rastrear el terreno. Los materiales biofumigantes se dejaron incorporados al suelo por un período de cinco semanas; simultáneamente a la incorporación de los materiales en el suelo se aplicó un sello de agua, es decir se regó la parcela a capacidad de campo, con el objeto de "impermeabilizar el suelo". Con los poros del suelo sellados por acción del agua, los gases producidos por los materiales puestos a descomponer no escaparon y los efectos biofumigantes pudieron realizar su efecto nematicida. Al finalizar la quinta semana (27 junio de 2001) se aireó el suelo durante una semana, volteando el suelo lo suficiente para que los gases que aún estuvieran escaparan a la atmósfera y no interfirieran con la germinación de las semillas de zanahoria.

6.4.3 VARIABLES DE RESPUESTA

- A. Número de nematodos en 100 cc de suelo por muestreo.
- B. Número de nematodos por diez gramos de raíz.
- C. Porcentaje de raíces sanas y defectuosas.
- D. Longitud y peso de raíz de zanahoria.
- E. Rendimiento de zanahoria en Kg/ha.

6.5 TOMA DE DATOS EN EL CAMPO

Antes, durante y al final del ciclo de cultivo de la zanahoria se registró la información pertinente para evaluar las variables de respuesta planteadas.

Al momento de la cosecha se tomaron todas las raíces de zanahoria de la parcela neta de cada unidad experimental, y se registró la información siguiente:

- A. **Raíces Sanas y Defectuosas:** Se contó el número de raíces sanas y defectuosas. Por raíz defectuosa se consideró las que presentaron nódulos radiculares y deformación del patrón normal de la forma de la raíz por nematodos.
- B. **Longitud de Raíz (cm):** La longitud de la raíz de zanahoria se registró en centímetros auxiliándose de un calibrador de base fija y extremo abatible.
- C. **Peso de Raíz (gr):** Se pesó cada una de 20 zanahorias sin daño de nematodo de cada unidad experimental por medio de una balanza con un nivel de precisión de 1 gramo. Luego se obtuvo el promedio de peso de raíz correspondiente a cada unidad experimental.
- D. **Rendimiento de Raíz (Kg/Ha):** Para obtener el rendimiento de raíz de zanahoria en kilogramos por hectárea se consideró el peso unitario promedio de cada unidad experimental y luego se multiplicó por la cantidad de raíces sin daño por nematodo en cada unidad experimental y luego las respectivas conversiones para obtener el dato por hectárea.

6.5.1 REGISTRO DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN

Desde el inicio de la fase de campo se registró cada uno de los costos incurridos para producir zanahoria bajo las condiciones que presenta cada tratamiento. En estos costos no se registró lo relativo a los análisis nematológicos, de suelo y medición de los parámetros cuantitativos de la raíz de zanahoria. Posteriormente se discernió entre costos variables y costos fijos que en conjunto conforman los costos totales de producción.

6.6 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

A. Población de Nematodos *Meloidogyne spp.*

Los valores obtenidos en cada uno de los seis muestreos de nematodos correspondiente a cada tratamiento se graficaron, colocando en el eje "X" la fecha de muestreo según los días después de la siembra de zanahoria en que se realizó, y en el eje "Y", la población de nematodos en 100 cc de suelo. Se analizaron las gráficas de las poblaciones de nematodos a fin de comprender el efecto de cada tratamiento biofumigante sobre las mismas.

B. Longitud, Peso y Rendimiento de Raíz de Zanahoria

A los resultados de estas tres variables se les sometió a un análisis de varianza para el diseño bloques al azar con cuatro repeticiones, 7 tratamientos y un nivel de significancia del cinco %. Para las variables en las cuales el análisis de varianza resultó significativo al nivel de confianza indicado se procedió a realizar una prueba múltiple de medias (Tukey) para establecer que tratamiento ofreció las mejores características sobre la variable según fue el caso.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para analizar el efecto biofumigante de los tratamientos en suelo cultivado con zanahoria, primero se interpretó el efecto sobre las poblaciones de nematodos en el suelo, luego en raíz, la longitud y peso de raíz unitaria y el rendimiento de raíces sanas en kilogramos por hectárea, con su respectivo análisis económico a fin de discernir cual o cuales son los mejores tratamientos. En todos los muestreos nematológicos de suelo y de raíz que se realizaron se determinó únicamente la presencia en el cultivo de zanahoria de nematodos del género *Meloidogyne spp.* Los resultados de los análisis nematológicos de suelo y raíz de zanahoria realizados por el laboratorio de Parasitología de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se presentan en el anexo.

7.1 DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA POBLACIÓN DE NEMATODOS EN EL SUELO

Para comprender el efecto de los distintos tratamientos biofumigantes sobre la población de nematodos del suelo es conveniente considerar cuatro aspectos importantes:

- A. Analizar como marco de referencia y comparación la población de nematodos en el tratamiento testigo (donde no se aplicó ningún tipo de control de nematodos); respecto a los tratamientos biofumigantes.
- B. Analizar en cada uno de los tratamientos el comportamiento de la población de nematodos entre el muestreo 1 antes de la biofumigación (Muestreo 1 = 21 de mayo) y después de retirar el sello de agua y airear el suelo al momento de la siembra (3 de julio), es decir 43 días después de haber aplicado los tratamientos biofumigantes.
- C. Considerando que las poblaciones de nematodos en el suelo fueron muy heterogéneas en cada unidad experimental no es conveniente realizar un análisis de varianza, puesto que de esta manera se obtiene un comparador "Wp" (debido a la heterogeneidad) muy amplio para las medias de la población de nematodos, de tal forma que tratamientos con medias muy bajas o muy altas serán estadísticamente iguales (ver en anexo); sin embargo, el rendimiento de raíces sin daño comercial por nematodos para dichos tratamientos sí es estadísticamente diferente; en tal sentido lo mejor es realizar una interpretación real del fenómeno, conviene analizar la fluctuación de la población de nematodos en el suelo en una misma unidad experimental a través del tiempo, es decir a través de cada uno de los cinco muestreos que se realizaron a partir del momento de la siembra, puesto que

las raíces de zanahoria son menos susceptibles a presentar daño comercial por nematodos si éstos se presentan cuando las raíces ya se encuentran a la mitad de su ciclo de cultivo, aunque después de ésta etapa se presenten poblaciones de nematodos relativamente altas, y, por otro lado las raíces de zanahoria son más susceptibles al daño que provocan los nematodos cuando éstas son infestadas durante los primeros 30 días después de la siembra.

7.1.1 POBLACIÓN DE NEMATODOS EN EL TRATAMIENTO TESTIGO (SIN CONTROL DE NEMATODOS)

La Figura 10 presenta la población de nematodos presentes en el suelo para cada repetición a través del tiempo del tratamiento testigo.

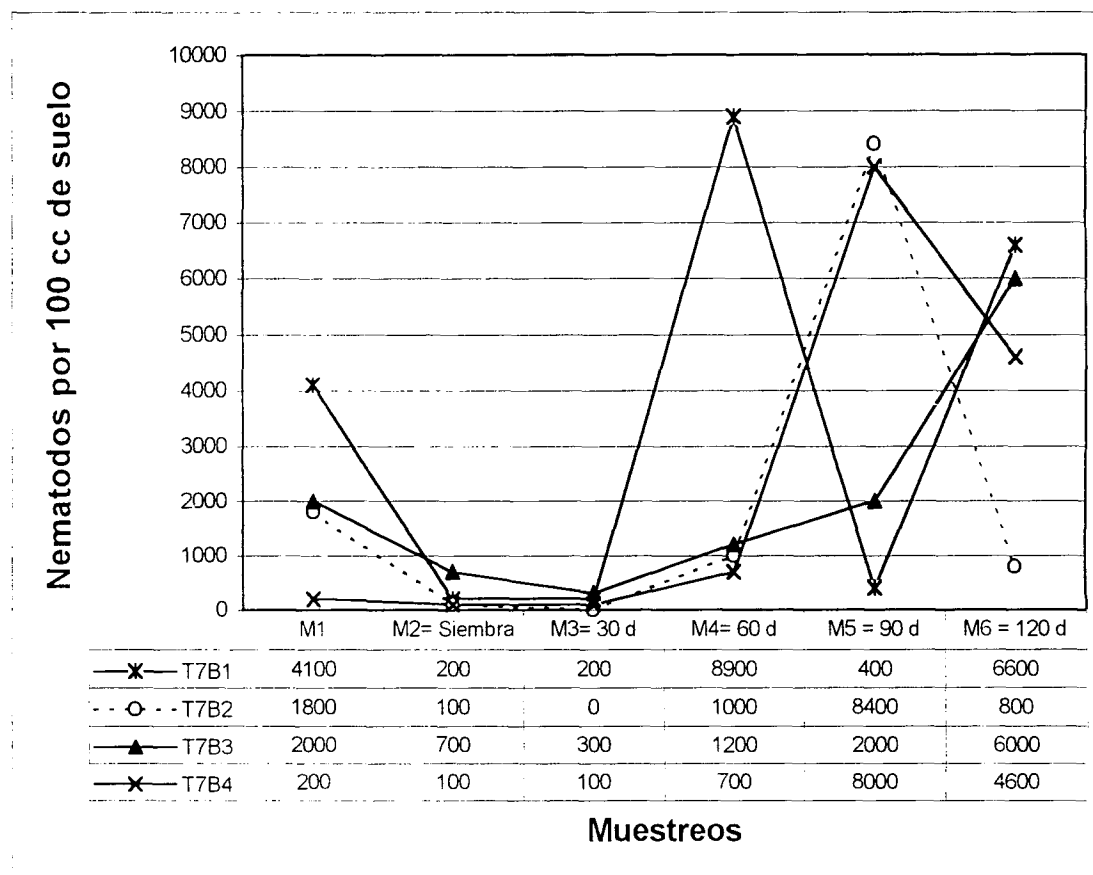


Figura 10. Población de nematodos por 100 cc de suelo en el tratamiento testigo (sin control de nematodos), en cada unidad experimental a través de seis muestreos.

Como se aprecia en la Figura 10 en el primer muestreo (M1) que se realizó después de eliminar los residuos de la cosecha anterior y labores de arado, la población de nematodos en cada unidad experimental

(B1, B2, B3 y B4) correspondiente a cada bloque donde se instaló el tratamiento testigo (T7), no fue homogénea puesto que se encuentran poblaciones desde 200 hasta 4,100 nematodos por 100 cc de suelo, lo cual es indicativo que la población se distribuye por focos de infestación.

Luego de 43 días que trascurrieron entre el muestreo uno y el muestreo dos de suelo (período de tiempo en que se aplicó la biofumigación en los tratamientos del uno al seis), en el tratamiento testigo la población de nematodos manifestó un descenso natural debido probablemente a que el suelo quedó desprovisto de fuente de alimentación para los nematodos, provocando la muerte de éstos por inanición principalmente de los J2, ya que los machos adultos dejan de ser fitoparasíticos y se adaptan a vida libre.

Para el tercer muestreo de suelo (30 días después de la siembra), se aprecia en la Figura ocho, que la población de nematodos o se mantuvo igual que en el muestreo 2 (Bloques 1 y 4) o se redujo aun más respecto al muestreo 2 (Bloques 2 y 3), esto debido probablemente a que la zanahoria se sembró el mismo día después del segundo muestreo (3 de julio de 2001), luego trascurrieron aproximadamente 8 días entre la siembra y la emergencia de las plántulas, las cuales poseían una raíz muy pequeña (menor a un centímetro) y además se encontraban muy cerca de la superficie del suelo (entre los primeros 4 centímetros). es por esas condiciones que se estima que los nematodos no tuvieron contacto con las raicillas por lo menos durante los primeros 12 días de sembradas las semillas y cualquier J2 que hubiera ingresado a la raicilla tuvo que pasar por J3 y J4 hasta llegar a ser una hembra adulta, para luego ya sea por partenogénesis o sexualmente producir huevos y luego los J2 resultantes de estos serían los que se reportarían en el tercer muestreo de suelo, pero como el ciclo de vida de *Meloidogyne spp.*, que es de 28 días, no hubo tiempo suficiente para tal resultado.

En los muestreos del cuatro al seis (de los 60 a los 120 días de sembradas las zanahorias), ya se aprecia incremento en las poblaciones de nematodos en el suelo, debido a que los J2 ya dentro de las raíces de zanahoria formaron hembras y machos adultos, los cuales produjeron nuevas generaciones de nematodos que migraron al suelo (J2 y machos adultos) en busca de alimento, por eso mismo se aprecia que en estos muestreos de suelo las poblaciones de nematodos presentan altibajos entre uno y otro muestreo, pero superiores a las poblaciones de los muestreos dos y tres.

A. Población promedio de nematodos desde la siembra hasta la cosecha de zanahoria en el testigo

En la Figura 11 se presenta la población promedio de nematodos en el suelo desde el muestreo realizado al momento de la siembra hasta el muestreo al momento de la cosecha, es decir el promedio de la población de los 5 muestreos.

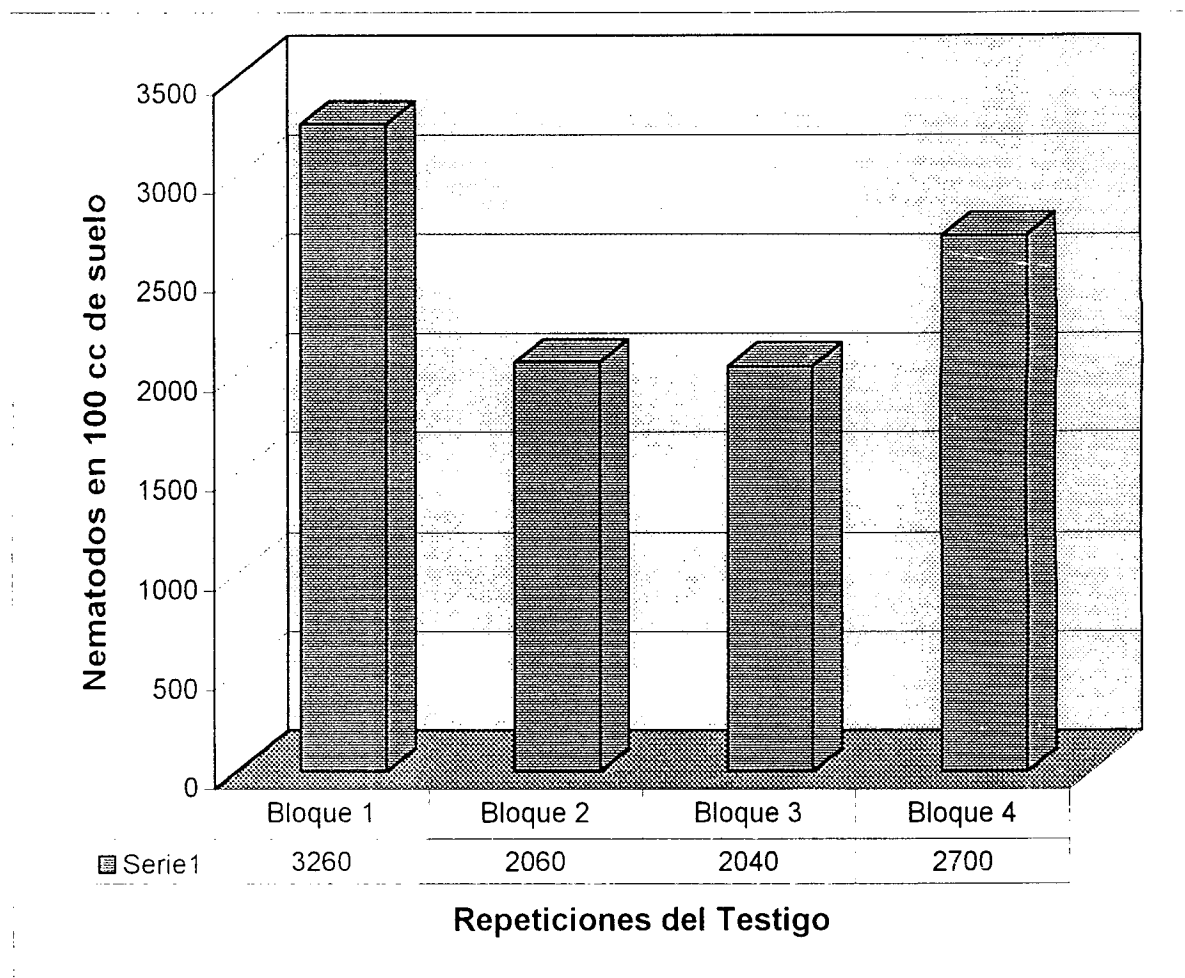


Figura 11. Población promedio de nematodos en el suelo desde el momento de la siembra hasta la cosecha de zanahoria.

Como se aprecia en la Figura 11, la población promedio de nematodos en suelo desde el momento de la siembra (3 julio 2001) hasta la cosecha (27 octubre 2001) en el tratamiento testigo (sin ningún tipo de control de nematodos) fluctuó entre 2,040 (Bloque 3) y 3,260 (Bloque 4), con una media de 2,515 nematodos por 100 cc de suelo. Estos datos servirán para comparar la cantidad de raíces con daño de nematodos y sin daño en el inciso 7.2.

7.1.2 POBLACIÓN DE NEMATODOS EN EL TRATAMIENTO 1 (5 KG DE GALLINAZA/m²)

La población de nematodos presentes por cada 100 cc de suelo a través de seis muestreos en el tratamiento biofumigante uno (5 Kg de gallinaza/m²), se presenta en la Figura 12.

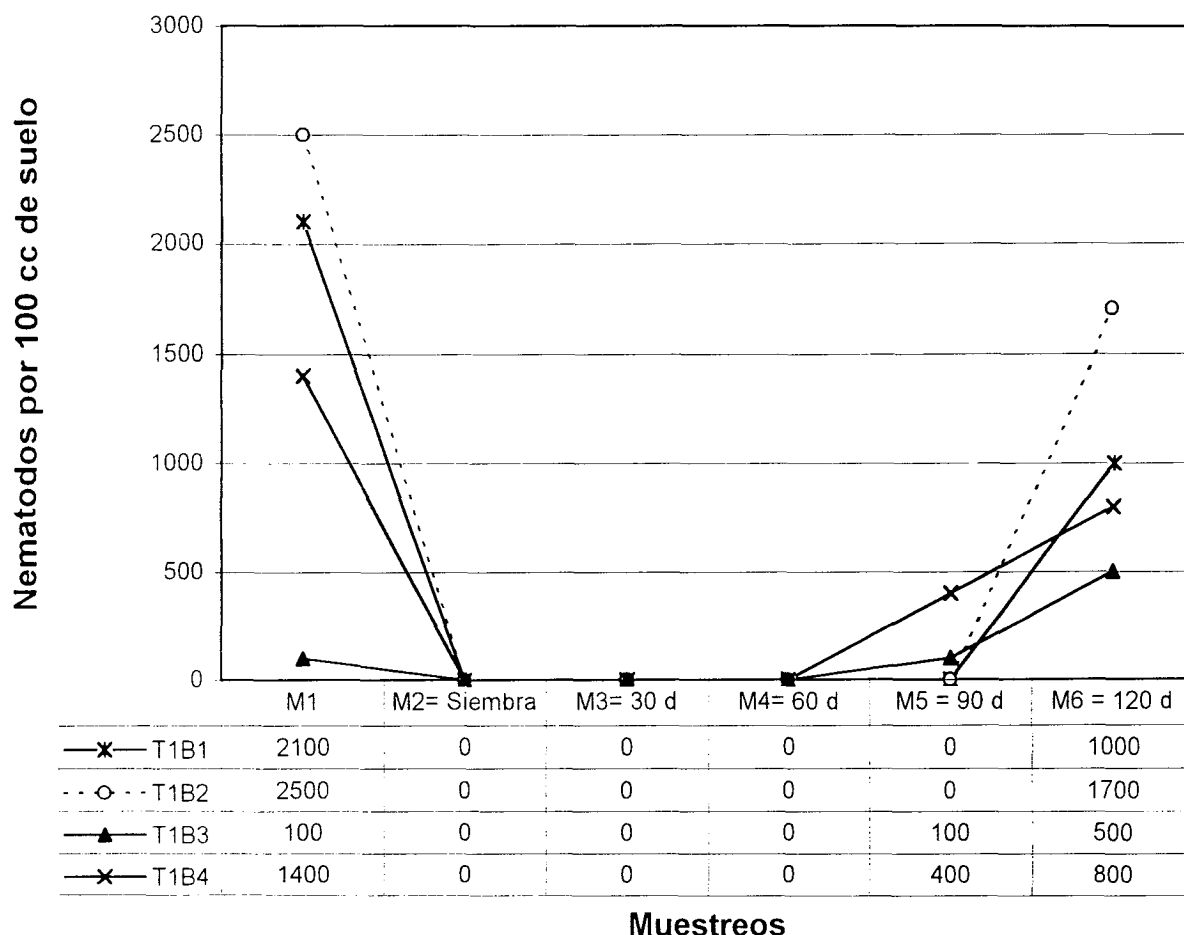


Figura 12. Población de nematodos por 100 cc de suelo en el tratamiento uno (5 kg/m² de gallinaza), en cada unidad experimental a través de seis muestreos.

La población inicial de nematodos en el suelo antes de la biofumigación (muestreo 1), al igual que en el tratamiento testigo fue heterogénea entre cada repetición, con valores de 100 hasta 2,500 nematodos por 100 cc de suelo; a los 43 días que se realizó el segundo muestreo de suelo, tiempo en el cual la gallinaza estuvo incorporada por 35 días dentro del suelo con sello de agua mas 8 días de aireación del suelo después para liberar los gases que pudiera contener éste, la población de nematodos en cada una de las 4 repeticiones descendió hasta cero y se mantuvo así hasta los 90 días después de la siembra de zanahoria en los bloques 1 y 2 y hasta los 60 días después de la siembra en los bloques 3 y 4, es decir que

la cantidad de amoníaco (NH_3^+) liberada dentro del suelo por los 5 Kg/m^2 de gallinaza fue suficiente para reducir eficientemente los nematodos.

Sin embargo se aprecia que al momento de la cosecha se encontraron nematodos en el suelo (desde 500 hasta 1,700 por 100 cc de suelo, lo que supone que parte de esta población (J2) provino inicialmente de los alrededores de la unidad experimental aproximadamente a los 60 días después de la siembra y fue capaz de completar su ciclo para luego en el último muestreo encontrar una población alta en el suelo, puesto que en el muestreo de raíz se encontraron nematodos a los 90 y 120 días después de la siembra; evidencia de ello es que en los bloques 3 y 4 ya habían poblaciones aunque bajas de nematodos en el suelo de 100 y 400 por 100 cc de suelo que probablemente fueran J2 y adultos provenientes de las raíces de cada unidad experimental del tratamiento uno o J2 y adultos provenientes de los alrededores de la unidad experimental. Lo que si se puede confirmar es que la población de nematodos en el suelo a los 120 días después del trasplante (momento de la cosecha), es una población que se originó en las raíces de las zanahorias cultivadas en cada unidad experimental del tratamiento uno.

En síntesis, al comparar estos resultados con los de la Figura 10, inciso 7.1.1 y los correspondientes a las Figuras de los tratamientos del 2 al 6 es evidente que el tratamiento que redujo las poblaciones de nematodos hasta cero y las mantuvo así durante los primeros 60 días después del trasplante es el de incorpora 5 kg/m^2 de gallinaza al suelo con sello de agua por un período de cinco semanas. Esta situación es particularmente importante, porque al estar el suelo libre de nematodos durante los primeros 60 días (medio ciclo del cultivo de la zanahoria) el daño comercial por nematodos que presentaron las zanahorias de éste tratamiento fue de tan solo el 12 por ciento, en contraste con el 80 por ciento de raíces con daño por nematodos que se obtuvieron en el tratamiento testigo, donde durante todo el ciclo de cultivo de la zanahoria se presentaron nematodos en el suelo, tal como se indica en la Figura 20 del inciso 7.2.

A. Población promedio de nematodos desde la siembra hasta la cosecha de zanahoria en el tratamiento uno (5 kg/m^2 de gallinaza)

La población promedio de nematodos en el suelo desde el momento de la siembra hasta la cosecha en el tratamiento 1 para cada uno de los 4 bloques en los que se distribuyó éste tratamiento se presenta en la Figura 13.

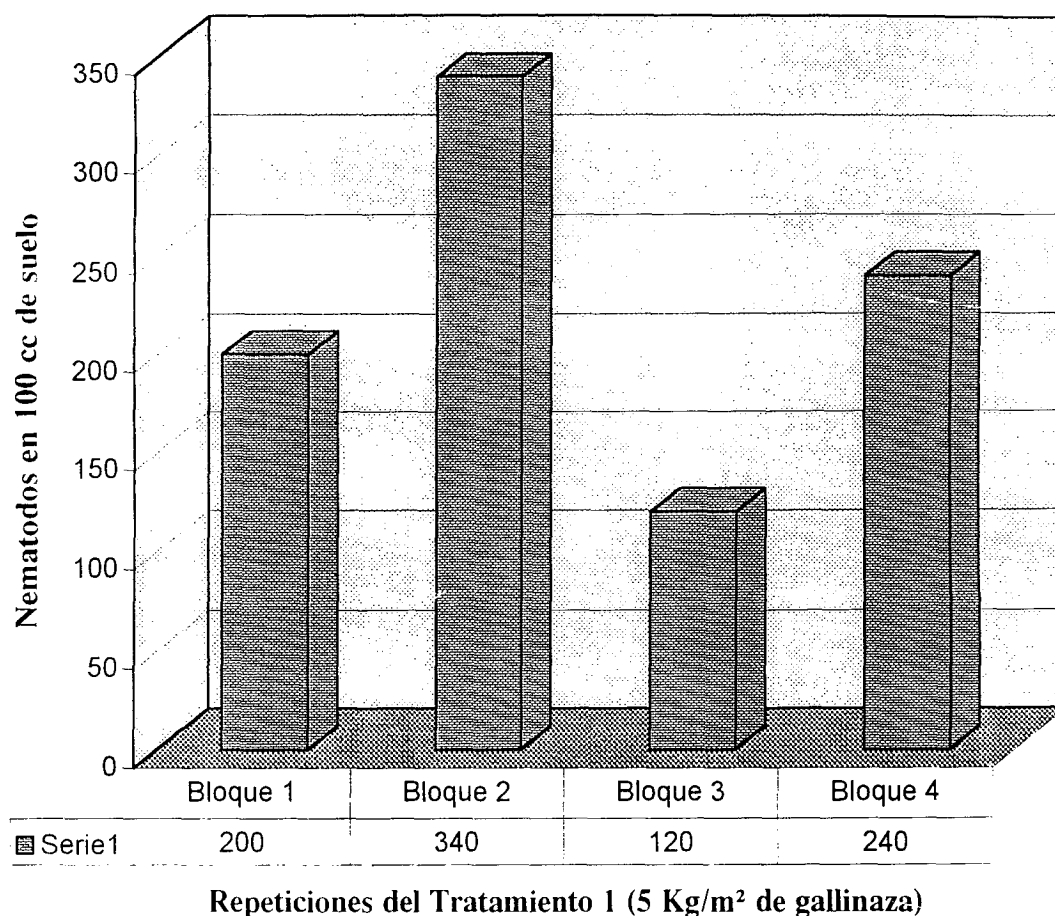
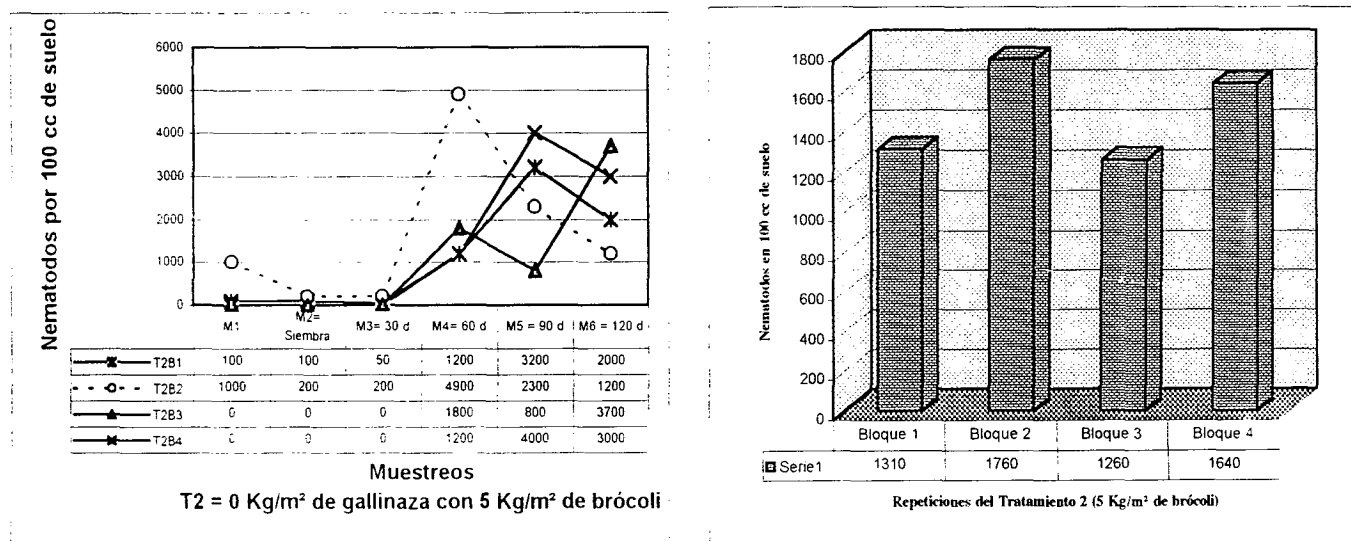


Figura 13. Población promedio de nematodos en el suelo desde el momento de la siembra hasta la cosecha de zanahoria en el tratamiento uno (5 kg/m² de gallinaza).

En el tratamiento en que se aplicaron únicamente 5 kg/m² de gallinaza y 0 kg/m² de brócoli, la acción nematicida producida por el biofumigante amoníaco (NH₃⁺), liberado por la gallinaza mantuvo la población promedio de nematodos a lo largo de 5 muestreos en cada uno de los 4 bloques propuestos en los niveles más bajos respecto a los demás tratamientos, puesto que oscilaron entre 120 y 340 nematodos por 100 cc de suelo, con una media de 225.

7.1.3 POBLACIÓN DE NEMATODOS EN EL TRATAMIENTO DOS (0 kg/m² de gallinaza y 5 kg/m² de brócoli)

La población de nematodos por 100 cc de suelo en cada una de las cuatro repeticiones a través de seis muestreos se presenta en la Figura 14.



(a)

(b)

Figura 14. (a) Población de nematodos por 100 cc de suelo en cada uno de los seis muestreos realizados en el cultivo de zanahoria y, (b) población promedio de nematodos en suelo desde la siembra (muestreo dos) hasta la cosecha de zanahoria (muestreo seis).

En este tratamiento la población inicial de nematodos antes de la biofumigación para las repeticiones tres y cuatro fue de cero y después de la biofumigación se mantuvo igual, en la repetición dos la población inicial fue de 1,000 por 100 cc de suelo y después de aplicar el tratamiento biofumigante descendió a 200 en la repetición uno la población inicial fue de 100 y en el muestreo al momento de la siembra se mantuvo igual, lo que indica que no hubo un control total de los nematodos, porque hay que recordar que cuando el suelo se encuentra arado y rastreado, pero sin cultivo, las poblaciones de nematodos descienden naturalmente por falta de alimento, tal como se evidencia en la Figura 10 que corresponde al tratamiento testigo donde no se realizó ningún tipo de control de nematodos. A partir de los 30 días después de la siembra de zanahoria, la población de nematodos en términos generales alcanzó su pico más alto a los 90 días después de la siembra, descendiendo al momento de la cosecha, a excepción de la repetición tres donde la población de nematodos fue en aumento. En general se mostró un comportamiento fluctuante de la población de nematodos en el suelo en cada una de las repeticiones. Importante es indicar que la población de nematodos promedio después de airear el suelo en las cuatro repeticiones fluctuó entre 1,260 y 1,760 con un promedio de 1,492, lo cual es inferior al testigo absoluto pero mayor que el tratamiento uno (5 kg/m² de gallinaza).

En síntesis el tratamiento biofumigante de 5 kg/m² de brócoli, no liberó dentro del suelo el suficiente contenido de isotiocianatos para ejercer un adecuado control de los nematodos, puesto que la población promedio de nematodos fue relativamente alta debido a que desde los 30 días después de la siembra de zanahoria (38 días después de haber liberado por remoción del suelo, los gases resultantes de la descomposición del brócoli), ya se tenían poblaciones de nematodos en el suelo entre los 50 y 200 por 100 cc de suelo. Después del testigo con una población promedio de 2,515 nematodos por 100 cc de suelo, el tratamiento dos (5 kg/m² de brócoli) tuvo la población promedio más alta de nematodos de 1492 por 100 cc de suelo, lo cual redundó en ocupar también el segundo lugar de mayor número de raíces con daño por nematodos (73 %) tal como se aprecia en la Figura 18.

7.1.4 POBLACIÓN DE NEMATODOS EN EL TRATAMIENTO TRES (4 kg/m² de gallinaza y 1 kg/m² de brócoli)

La población de nematodos por 100 cc de suelo en cada una de las cuatro repeticiones a través de seis muestreos se presenta en la Figura 15.

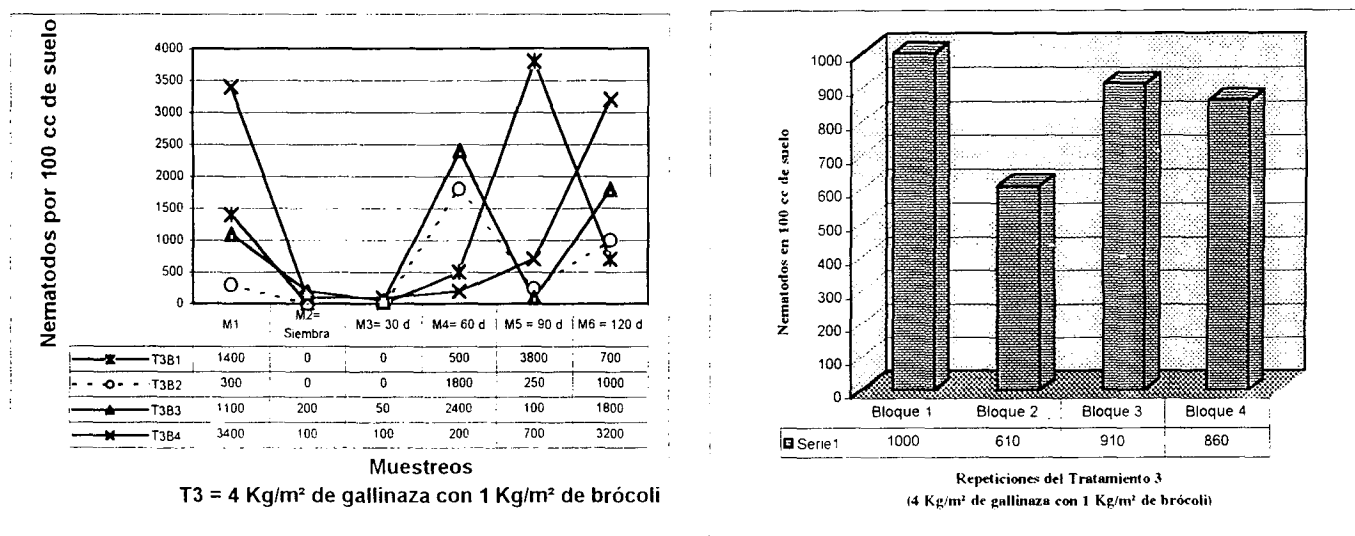


Figura 15. (a) Población de nematodos por 100 cc de suelo en cada uno de los seis muestreos realizados en el cultivo de zanahoria y, (b) población promedio de nematodos en suelo desde la siembra (muestreo dos) hasta la cosecha de zanahoria (muestreo seis).

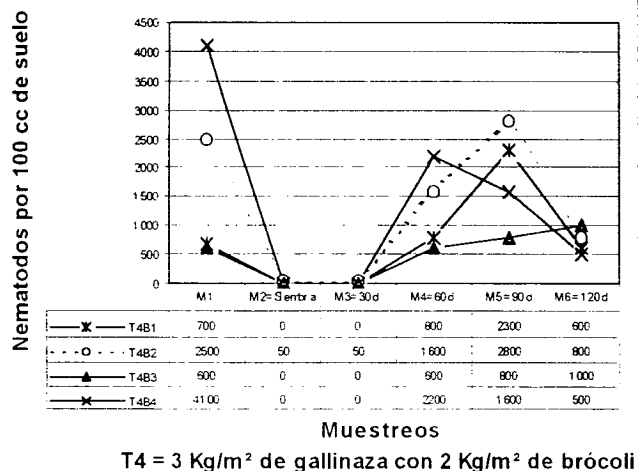
Como se aprecia en la Figura 15 (a), antes de la biofumigación en el tratamiento tres (4 kg/m² de gallinaza con 1 kg/m² de brócoli), la población de nematodos en el suelo fue heterogénea con poblaciones que van desde los 300 (repetición dos) hasta los 3,400 (repetición cuatro); luego a los 43 días de aplicar el tratamiento biofumigante (muestreo al momento de la siembra), se aprecia que únicamente en las

repeticiones uno y dos la población descendió hasta cero nematodos por 100 cc de suelo y se mantuvo así hasta los 30 días después de la siembra de zanahoria, en las repeticiones tres y cuatro la población de nematodos no descendió hasta cero y se mantuvo entre 100 y 200 nematodos por 100 cc de suelo. es decir no hubo un control total de los nematodos. A partir de los 60 días después de la siembra de zanahoria las poblaciones de nematodos en el suelo se manifestaron en las cuatro repeticiones de éste tratamiento y presenta altibajos, siendo la población más alta encontrada de 3,800 nematodos por 100 cc de suelo a los 90 días después de la siembra en la repetición uno.

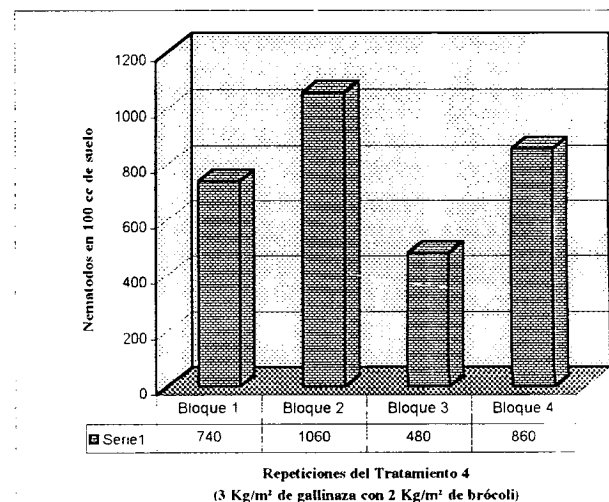
Desde la siembra hasta la cosecha la población promedio en cada uno de las cuatro repeticiones osciló entre los 610 y 1,000 nematodos por 100 cc de suelo con un promedio de 845. Este tratamiento fue el que presentó la tercera población más baja de nematodos en el suelo.

7.1.5 POBLACIÓN DE NEMATODOS EN EL TRATAMIENTO CUATRO (3 kg/m² de gallinaza y 2 kg/m² de brócoli)

La población de nematodos por 100 cc de suelo en cada una de las cuatro repeticiones a través de seis muestreos se presenta en la Figura 16.



(a)



(b)

Figura 16. (a) Población de nematodos por 100 cc de suelo en cada uno de los seis muestreos realizados en el cultivo de zanahoria y, (b) población promedio de nematodos en suelo desde la siembra (muestreo dos) hasta la cosecha de zanahoria (muestreo seis).

El tratamiento que ocupó el segundo lugar en la reducción de nematodos fue el de combinar 3 kg/m² de gallinaza con 2 kg/m² de brócoli incorporados al suelo con sello de agua durante cinco semanas ya que ofrece la segunda población más baja promedio de nematodos en el suelo que es de 785 por 100 cc de suelo y un rango de 480 a 1,060. En este caso es probable que la combinación de los isotiocianatos liberados por los dos kilogramos de brócoli y el amoniaco liberado por los tres kilogramos de gallinaza fue relativamente efectivo ya que al menos en tres de las cuatro repeticiones mantuvo la población de nematodos a cero durante los primeros 30 días después de la siembra de zanahoria; sin embargo no fue suficiente ya que el 67.4 por ciento de las raíces de zanahoria presentaron daño comercial por nematodos.

7.1.6 POBLACIÓN DE NEMATODOS EN EL TRATAMIENTO CINCO (2 kg/m² de gallinaza y 3 kg/m² de brócoli)

La población de nematodos por 100 cc de suelo en cada una de las cuatro repeticiones a través de seis muestreos se presenta en la Figura 17.

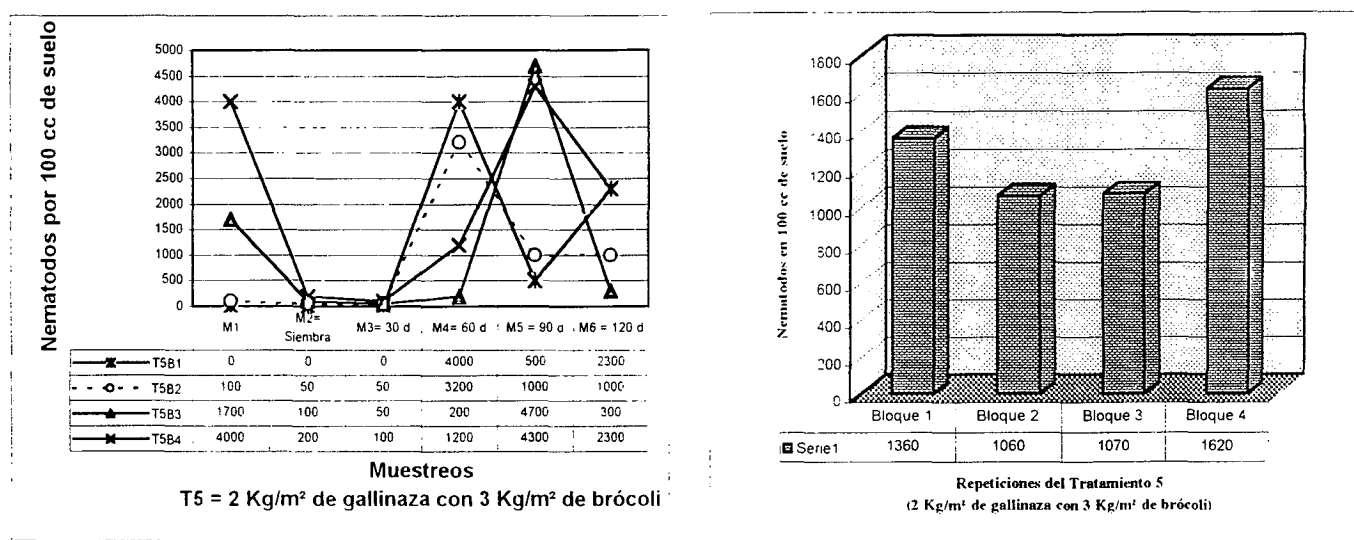


Figura 17. (a) Población de nematodos por 100 cc de suelo en cada uno de los seis muestreos realizados en el cultivo de zanahoria y, (b) población promedio de nematodos en suelo desde la siembra (muestreo dos) hasta la cosecha de zanahoria (muestreo seis).

En este tratamiento la población inicial de nematodos antes de la biofumigación fue heterogénea, encontrando en una unidad experimental hasta 4.000 nematodos por 100 cc de suelo y en la repetición uno no se encontraron nematodos en el suelo. A los 43 días después de haber aplicado el tratamiento biofumigante la población de nematodos descendió y siguió descendiendo o se mantuvo igual hasta los 30 días después de la siembra de la zanahoria. A partir de los 60 días después de la siembra de zanahoria, la población de nematodos aumentó en las cuatro repeticiones de éste tratamiento, debido a que ya no había

influencia de los gases liberados dentro del suelo por los materiales biofumigantes y que las raíces de zanahorias tenían un tamaño y profundidad adecuada dentro del suelo para ser hospedantes de los nematodos.

La población promedio de nematodos en las cuatro repeticiones del tratamiento biofumigante con 2 kg/m² de gallinaza y 3 kg/m² de brócoli a lo largo del ciclo de cultivo de la zanahoria osciló entre los 1,060 y 1,620 nematodos con un promedio de 1,277 nematodos por 100 cc de suelo.

7.1.7 POBLACIÓN DE NEMATODOS EN EL TRATAMIENTO SEIS (1 kg/m² de gallinaza y 4 kg/m² de brócoli)

La población de nematodos a través de seis muestreos en el tratamiento biofumigante con un kg/m² de gallinaza y 4 kg/m² de brócoli se presenta en la Figura 18.

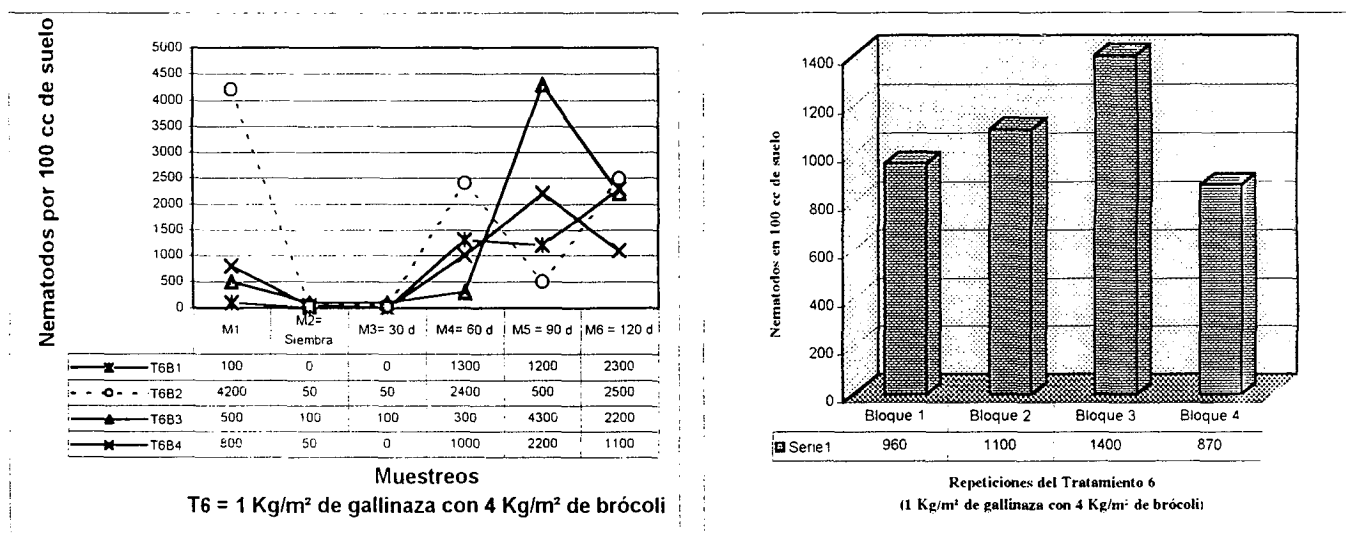


Figura 18. (a) Población de nematodos por 100 cc de suelo en cada uno de los seis muestreos realizados en el cultivo de zanahoria y, (b) población promedio de nematodos en suelo desde la siembra (muestreo dos) hasta la cosecha de zanahoria (muestreo seis).

En el tratamiento donde se aplicó únicamente un kg/m² de gallinaza combinado con 4 kg/m² de brócoli, la población de nematodos al igual que en los demás tratamientos antes de la biofumigación fue muy heterogénea lo cual se evidencia que en cada una de las cuatro repeticiones la población fluctuó entre 100 hasta 4,200 nematodos por 100 cc de suelo, luego de la biofumigación la población descendió presentando poblaciones de 0, 50 y 100 nematodos por 100 cc de suelo, lo cual es indicativo de que no hubo una reducción total de éstos y como ya se indicó en el tratamiento testigo donde no se realizó ningún

tipo de control de nematodos del suelo, las poblaciones de nematodos luego de seis semanas de estar el suelo sin alimento para éstos descendieron. A partir de los 60 días después de la siembra de la zanahoria, las poblaciones de nematodos se elevaron notablemente alcanzando hasta 4,300 nematodos por 100 cc de suelo.

Al analizar la población promedio de nematodos por cada repetición a través de los muestreos realizados desde el momento de la siembra hasta la cosecha se obtiene una fluctuación para éste tratamiento de 870 hasta 1,400 nematodos con un promedio de 1,082 nematodos por 100 cc de suelo, valor promedio que es similar al aplicar dos kg/m² de gallinaza combinado con 3 kg/m² de brócoli.

7.2 ANÁLISIS INTEGRADO DE LA POBLACIÓN PROMEDIO DE NEMATODOS EN CADA TRATAMIENTO DESDE LA SIEMBRA HASTA LA COSECHA.

En la Figura 19 se muestra la población media durante el ciclo de cultivo de la zanahoria que se presentó bajo cada uno de los tratamientos biofumigantes incluyendo al testigo.

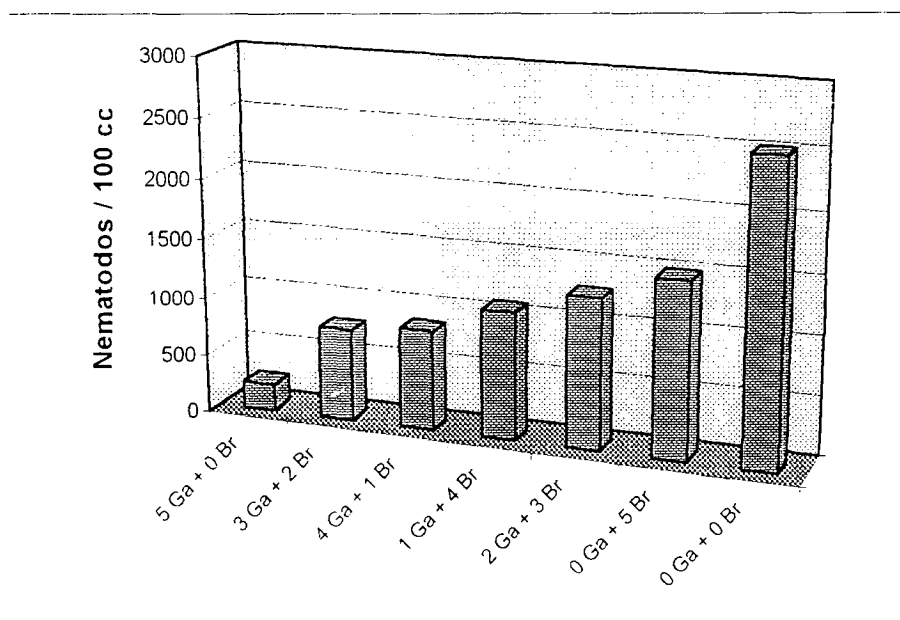


Figura 19. Población promedio de nematodos durante el ciclo de cultivo de la zanahoria en cada uno de los tratamientos biofumigantes.

Los valores que se presentan en la Figura 19 corresponden a la población de nematodos de cada uno de los tratamientos biofumigantes incluyendo al testigo y se obtuvieron de obtener primero el promedio de cada repetición a través de los seis muestreos desde el momento de la siembra hasta la

cosecha de la zanahoria y luego se sumaron los datos de cada una de las cuatro repeticiones de cada tratamiento para obtener el promedio general.

Como se aprecia en la Figura 19, la menor población de nematodos promedio se obtuvo en el tratamiento biofumigante con 5 kg/m² de gallinaza (225 nematodos / 100 cc de suelo) y la mayor población de nematodos se presentó en el tratamiento testigo donde no se realizó ningún tipo de control de nematodos (2,515 nematodos por 100 cc de suelo); por otro lado se aprecia que al aplicar únicamente el brócoli como material biofumigante a razón de 5 kg/m² no ejerce un adecuado control de los nematodos ya que la población promedio durante el ciclo de cultivo de la zanahoria es de 1,492 por 100 cc de suelo. Las otras combinaciones de gallinaza y brócoli presentan poblaciones promedio de nematodos superiores a los 750 por 100 cc de suelo, que se presentaron desde el momento de la siembra hasta la cosecha, en tanto en el tratamiento en que se aplicó 5 kg/m² de gallinaza como material biofumigante los nematodos se presentaron en el suelo hasta los 60 días después de la siembra de la zanahoria, lo cual es importante porque las zanahorias ya tienen cierto grado de desarrollo y no manifiestan daño comercial por nematodos, tal como se aprecia en la Figuras 20 y 21, en que el daño por nematodos en el tratamiento uno es de tan solo el 12.4 por ciento, lo cual redundó en un mayor rendimiento de raíces sanas superior 85,000 kg/ha. en tanto que en todas las combinaciones de gallinaza con brócoli el rendimiento de raíces sanas de zanahoria fue menor a 315,000 kg/ha; en tal sentido se puede apreciar que el grado de daño que los nematodos pueden causar a las raíces de zanahoria está estrechamente relacionado con el grado de desarrollo de la raíz de zanahoria, siendo las raíces jóvenes las más susceptibles a presentar daño comercial por nematodo y las raíces que son atacadas por nematodos cuando ya han sobrepasado la mitad del tiempo de su desarrollo son menos susceptibles a presentar daño comercial por nematodo.

7.3 POBLACIÓN DE NEMATODOS EN RAÍZ DE ZANAHORIA

La población de nematodos por 10 gramos de raíz de zanahoria en cada una de las unidades experimentales se presenta en el Cuadro 7.

Cabe recordar que el suelo para análisis nematológico de los muestreos 3 al 6 provenía de la rizosfera de donde se extrajeron las zanahorias para análisis nematológico, las cuales a través de su follaje manifestaron estar infestadas por nematodos, principalmente porque ésta era de menor porte pero más denso y verde azulado intenso.

Cuadro 7. Nematodos por 10 gramos de raíz de zanahoria a lo largo de 4 muestreos.

Tratamiento	Repetición	Días después de la siembra			
		M1 = 30	M2 = 60	M3 = 90	M4 = 120
1 (5 Kg/m ² G - 0 Kg/m ² B)	1	0	0	0	20
	2	0	0	10	10
	3	0	0	20	10
	4	0	0	20	20

Tratamiento	Repetición	Días después de la siembra			
		M1 = 30	M2 = 60	M3 = 90	M4 = 120
2 (0 Kg/m ² G - 5 Kg/m ² B)	1	0	20	20	20
	2	0	20	20	30
	3	0	20	10	20
	4	0	10	10	20

Tratamiento	Repetición	Días después de la siembra			
		M1 = 30	M2 = 60	M3 = 90	M4 = 120
3 (4 Kg/m ² G - 1 Kg/m ² B)	1	0	10	30	20
	2	0	20	20	20
	3	0	20	20	20
	4	0	10	10	20

Tratamiento	Repetición	Días después de la siembra			
		M1 = 30	M2 = 60	M3 = 90	M4 = 120
4 (3 Kg/m ² G - 2 Kg/m ² B)	1	0	20	20	20
	2	0	20	10	20
	3	0	10	20	20
	4	0	20	10	20

Tratamiento	Repetición	Días después de la siembra			
		M1 = 30	M2 = 60	M3 = 90	M4 = 120
5 (2 Kg/m ² G - 3 Kg/m ² B)	1	0	10	10	20
	2	0	10	10	20
	3	0	20	20	20
	4	0	10	20	10

Tratamiento	Repetición	Días después de la siembra			
		M1 = 30	M2 = 60	M3 = 90	M4 = 120
6 (1 Kg/m ² G - 4 Kg/m ² B)	1	0	10	10	20
	2	0	20	20	20
	3	0	20	20	20
	4	0	20	20	20

Tratamiento	Repetición	Días después de la siembra			
		M1 = 30	M2 = 60	M3 = 90	M4 = 120
7 (Testigo) Sin control de nematodos	1	0	30	20	20
	2	0	20	20	10
	3	0	20	40	20
	4	0	20	20	30

En los tratamientos del 2 al 7 se encontró nematodos en las raíces de zanahoria desde el muestreo 2 que se realizó a los 60 días después de la siembra. En éstos tratamientos no se encontró nematodos en las raíces de zanahoria en el primer muestreo que se realizó a los 30 días después de sembradas las zanahorias, esto debido a que entre la germinación y la formación de raíces de por lo menos 1 centímetro de largo transcurrieron 12 días, además que los nematodos debían movilizarse hasta por lo menos 2 centímetros debajo de la superficie del suelo, y si algunos nematodos lograron infestar algunas raíces, por un lado en la parte aérea de la zanahoria no manifestaron síntomas por lo que la selección de zanahorias en el muestreo 1 fue al azar y por otro lado aunque un J2 hubiese ingresado a la raíz 18 días no fueron suficientes para diferenciarse en hembra y que esta formara huevecillos de donde luego emergerían J2 que es la fase del nematodo que se extrajo en el laboratorio puesto que ésta se realizó empleando el embudo de Baerman en cámara con nebulización.

Únicamente en el tratamiento 1 (5 kg/m² de gallinaza con 0 kg/m² de Brócoli), se encontraron nematodos en la raíz de zanahoria hasta los 90 días después de la siembra, esto debido a lo discutido en el inciso 7.1.2, donde se indica que el efecto biofumigante del amonio liberado por los 5 kg de gallinaza fue suficiente para reducir las poblaciones de estos en el suelo y que además el efecto nematicida se prolongó durante los primeros 60 días después de la siembra de la zanahoria.

En general en las unidades experimentales de todos los tratamientos las poblaciones de nematodos por 10 gramos de raíz de zanahoria fueron similares desde 10 hasta 40 J2, con una media de 20 nematodos; la única diferencia es el momento en que los nematodos ingresaron a la raíz de zanahoria.

7.4 PORCENTAJE DE RAÍCES SANAS Y CON DAÑO DE NEMATODOS

En la empresa Pamputik, la zanahoria que se produce es para comercializarla en bolsas de 5 unidades, las zanahorias pueden presentar defectos que las descalifican para ser comercializadas, actualmente el principal defecto es el daño de la raíz por la presencia de nematodos, el cual se caracteriza porque la zanahoria pierde su patrón cilíndrico y se arquea a lo largo de su longitud o bien porque se forman zanahorias con 2 o más raíces pivotantes o simplemente en el punto de inserción de la raicilla a la raíz principal se forman protuberancias por la acción de los nematodos. En tal sentido en la Figura 20 se presenta el porcentaje de raíces sanas y con daño por nematodo, no considerando en el análisis otros

defectos tales como, escaso desarrollo y muerte por *Alternaria spp.*, daño mecánico por el suelo, raíces con alo verde en el cilindro por exposición a la luz, entre otros.

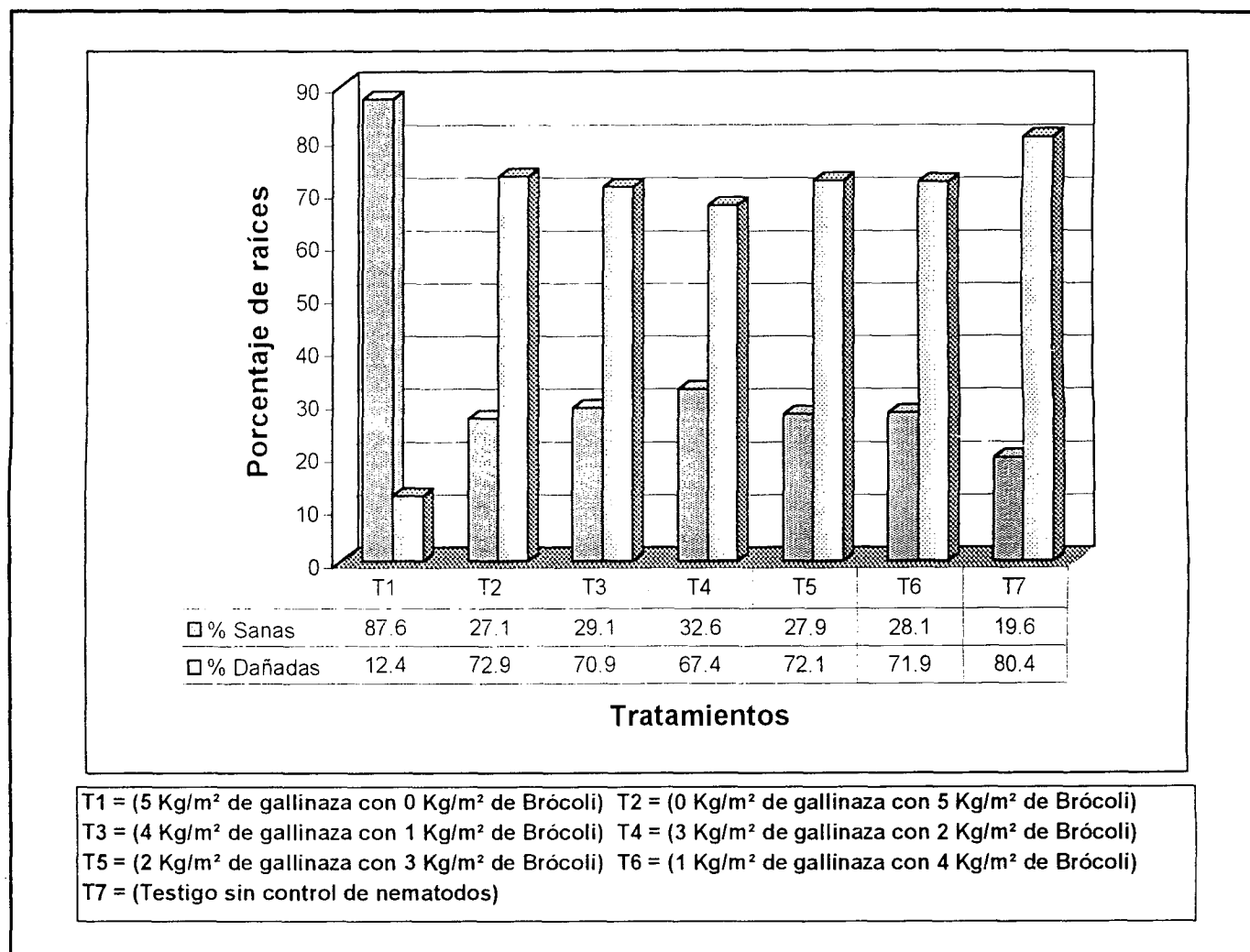


Figura 20. Porcentaje de raíces sanas y con daño por nematodos.

El mayor porcentaje de raíces con presencia de daño por nematodos se presentó en el tratamiento testigo (80.40 %): en el tratamiento donde se aplicó únicamente brócoli (T2) el porcentaje con raíces daño por nematodos fue menor que en el testigo (72.9 %), los demás tratamientos en que se combinó brócoli con gallinaza como agentes biofumigantes el porcentaje de raíces con daño por nematodo siempre fue alto con un rango de 67.4 a 71.9 %, siendo de las combinaciones el que menor porcentaje de raíces con daño presentó 3 kg/m² de gallinaza con 2 kg/m² de brócoli (T4).

Como se indicó anteriormente el único tratamiento que mantuvo las poblaciones de nematodos reducidas a cero durante los primeros 60 días después de la siembra de la zanahoria fue el tratamiento 1 (5

kg/m² de gallinaza) y es también este tratamiento el que presentó el menor porcentaje de raíces con daño por nematodos (12.4 %).

7.5 LONGITUD Y PESO DE RAÍZ DE ZANAHORIA

En el Cuadro 8 se presenta el resumen del análisis de varianza para la longitud de zanahoria en centímetros y en el Cuadro 9 el andeva para la variable peso de raíz en gramos.

Cuadro 8. ANDEVA para la variable longitud de zanahoria en centímetros.

F.V	G.L.	S.C.	C.M.	Fcal	Ftab	Significancia
Bloques	3	1.68392857	0.56130952	6.74213537		
Biofumigación	6	0.61857143	0.10309524	1.23832221	2.66	No Significativo
Error	18	1.49857143	0.08325397			
Total	27	3.80107143				

Cuadro 9. ANDEVA para la variable peso de raíz de zanahoria en gramos.

F.V	G.L.	S.C.	C.M.	Fcal	Ftab	Significancia
Bloques	3	19.1171429	6.37238095	0.47358177		
Biofumigación	6	32.9085714	5.4847619	0.40761581	2.66	No Significativo
Error	18	242.202857	13.4557143			
Total	27	294.228571				

Los Cuadros 8 y 9 muestran que la F calculada fue menor que la F de tabla al 5 % de significancia, por lo que para ninguna de las dos variables se presenta significancia, es decir que la longitud de la raíz de zanahoria es igual en cada uno de los 7 tratamientos evaluados, así mismo el peso de la raíz de zanahoria es estadísticamente igual en todos los tratamientos. El que no se haya presentado al menos uno de los tratamientos con diferente longitud y peso de raíz de zahanoria indica dos aspectos importantes: En primer lugar que la variedad de zanahoria Bangor es muy uniforme en cuanto a estas dos variables se refiere y en segundo lugar que la aplicación de los tratamientos biofumigantes al suelo no modifican el desarrollo normal de la raíz de zanahoria durante el primer ciclo de cultivo, puesto que son estadísticamente iguales al tratamiento testigo, donde no se aplicó ningún tipo de control de nematodos del suelo; sin embargo se espera que a través del tiempo los residuos orgánicos incorporados al suelo como agentes biofumigantes sufran modificaciones hasta convertirse en humus y entonces se proporcionará un beneficio adicional que es la nutrición de las plantas (6, 18).

7.6 RENDIMIENTO DE ZANAHORIA EN kg/ha

En el Cuadro 10 se presenta el resumen del análisis de varianza para la variable rendimiento de raíces sanas de zanahoria en kilogramos por hectárea.

Cuadro 10 ANDEVA para la variable rendimiento de raíces sanas de zanahoria en kg/ha.

F.V	G.L.	S.C.	C.M.	Fcal	Ftab ₍₀₅₎	Significancia
Bloques	3	131014841	43671613.6	4.82849831		
Biofumigación	6	1.2131E+10	2021798702	223.53769	2.66	Significativo
Error	18	162801972	9044553.98			
Total	27	1.2425E+10				

En el Cuadro 10 se aprecia que existe diferencias significativas al 95 % de confianza entre los tratamientos biofumigantes, es decir que al menos uno de los tratamientos ofrece un rendimiento de zanahoria en kg/ha superior al de los demás, por lo que se procedió a realizar la prueba múltiple de medias de Tukey, la cual se presenta en la Figura 21.

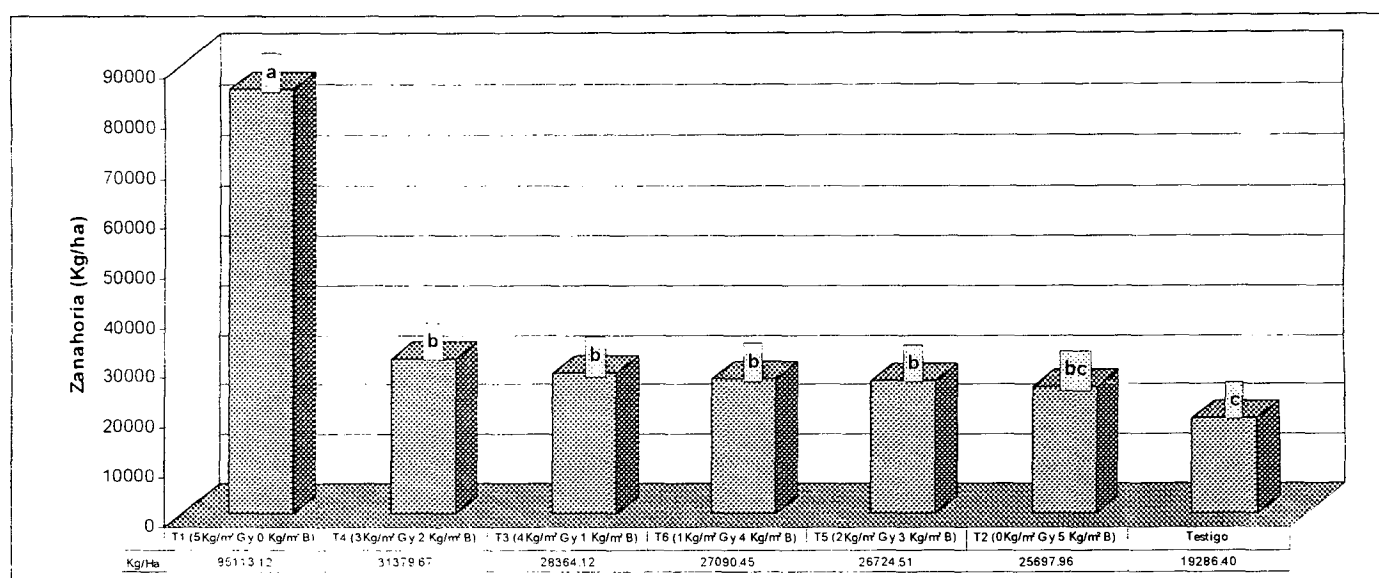


Figura 21. Prueba de Tukey para la variable rendimiento de raíz de zanahoria en kg/ha.

El mayor rendimiento de raíces sanas (sin daño de nematodos) se obtuvo en el tratamiento 1 de aplicar al suelo 5 kg/m² de gallinaza ofreciendo 85,113.12 kg de zanahoria por hectárea; luego los demás tratamientos biofumigantes se ubicaron en un segundo lugar con rendimientos que oscilaron entre los 25,697.96 y 31,379.67 kilogramos de zanahoria por hectárea. Entre el tratamiento biofumigante en que se

utilizaron 5 kg/m² de brócoli y el tratamiento testigo no se presentaron diferencias significativas en cuanto al rendimiento de kilogramos de raíces sanas por hectárea. lo cual indica que la liberación de isotiocianatos en el suelo no fue suficiente para controlar las poblaciones de nematodos.

7.7 ANÁLISIS ECONÓMICO

En el Cuadro 11 se presenta el análisis económico realizado a la producción de raíces de zanahoria en cada uno de los tratamientos evaluados, tomando como indicativo la relación beneficio costo y la rentabilidad.

Cuadro 11. Relación beneficio Costo y Rentabilidad de la zanahoria

Tratamiento	Costos Fijos	Costos Variables	Costo Total	Beneficio Neto	Relación Benef/Costo	Rent (%)
T1 (5Kg/m ² G y 0 Kg/m ² B)	Q 22,731.00	Q 81,007.78	Q 103,738.78	Q 279,925.55	Q 3.70	269.84
Testigo	Q 22,731.00	Q 13,118.32	Q 35,849.32	Q 50,241.21	Q 2.40	140.15
T4 (3Kg/m ² G y 2 Kg/m ² B)	Q 22,731.00	Q 47,903.02	Q 70,634.02	Q 70,666.75	Q 2.00	100.5
T3 (4Kg/m ² G y 1 Kg/m ² B)	Q 22,731.00	Q 46,925.43	Q 69,656.43	Q 58,543.00	Q 1.84	84.05
T6 (1Kg/m ² G y 4 Kg/m ² B)	Q 22,731.00	Q 43,869.09	Q 66,600.09	Q 55,049.58	Q 1.83	82.66
T5 (2Kg/m ² G y 3 Kg/m ² B)	Q 22,731.00	Q 44,477.97	Q 67,208.97	Q 53,504.93	Q 1.80	79.61
T2 (0Kg/m ² G y 5 Kg/m ² B)	Q 22,731.00	Q 42,164.01	Q 64,895.01	Q 49,268.53	Q 1.76	75.92

Como se aprecia en el Cuadro 11, la mayor rentabilidad la ofrece el tratamiento uno en el que se incorporaron 5 kg/m² de gallinaza y el beneficio neto que proporciona es el máximo de Q. 279,925.55 por hectárea. en este tratamiento por cada quetzal que se invierte se recupera el quetzal invertido y se obtiene además una ganancia de Q. 3.70. Los demás tratamientos biofumigantes presentan una rentabilidad menor que la del testigo, puesto que al no controlar efectivamente los nematodos y por ende presentar un rendimiento de raíces sin daño con nematodos no mucho mayor que el testigo. se invierte dinero en la adquisición de los materiales biofumigantes, así como en su incorporación al suelo, de esa cuenta resulta que no es beneficioso trabajar con ninguno de estos tratamientos biofumigantes a excepción del tratamiento uno el que si ofrece una rentabilidad mucho mayor que la del tratamiento testigo en donde no se realizó control alguno de los nematodos del suelo.

8. CONCLUSIONES

1. Los residuos de brócoli aplicados al suelo cultivado con zanahoria a razón de 5 kg/m² con sello de agua, no liberan la suficiente cantidad de isotiocianatos para reducir las poblaciones de nematodos.
2. Los residuos de gallinaza aplicados al suelo cultivado con zanahoria a razón de 5 kg/m² con sello de agua, liberan la suficiente cantidad de amoníaco para reducir las poblaciones de nematodos a cero durante los primeros 60 días de cultivo.
3. Ninguna combinación de gallinaza y brócoli aplicada al suelo para el control de nematodos es adecuada para reducir las poblaciones de nematodos en suelo cultivado con zanahoria.
4. Al aplicar residuos de brócoli al suelo para el control de nematodos el rendimiento de raíces sin daño por nematodos es de 25,697.96 kg/ha, y, al aplicar residuos de gallinaza para el control de nematodos del suelo el rendimiento de raíces sin daño por nematodos es de 85,113.12 kg/ha.
5. La alternativa al uso de nematicidas químicos que resultó adecuada es el de aplicar para el control de nematodos 5 kg/m² de gallinaza con sello de agua, ya que permite obtener la máxima rentabilidad de 269.84 %.

9. RECOMENDACIÓN

1. Para el control de nematodos del suelo asociados al cultivo de zanahoria se recomienda el tratamiento biofumigante de 5 kg/m² de gallinaza fresca incorporada al suelo y cubierto con sello de agua durante 5 semanas, mas una semana de aireación para liberar el exceso de los gases (amoníaco principalmente) antes de la siembra del cultivo.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Agrios, GN. 1985. Fitopatología. México, Limusa. 756 p.
2. Agropecuaria Pamputik. 1998. Folleto de control climatológico, flora y fauna. Guatemala. p. 7-10.
3. Agudelo, JA. 1999. Reconocimiento de nematodos fitoparásitos asociados con zanahoria en el municipio de Villamaría (Caldas). Colombia, Universidad de Caldas, Facultad de Agronomía. Manizales. 75 p.
4. Angus, JF. *et al.* 1994. Biofumigation: isothiocyanates released from Brassica roots inhibit growth of the take-all fungus. *Plant and Soil* 162:107-112.
5. Arias, M.; López Pérez, A. 1999. Alternatives to methyl bromide to control nematodes in a cucumber-swiss chard rotation in greenhouses. Annual Meeting ONTA (31., 1999, San Juan. Puerto Rico). Abstracts. *Nematropica* 29:115.
6. Bello, A. 1998. Biofumigation and integrated pest management. In: Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries. Phytoma, España, DG XI EU, CSIC, Valencia, Spain. p. 99-126.
7. Bello, A.; López, JA.; Sanz, R.; Scuer, M.; Herrero, J. 1998. Biofumigation and organic amendments. Madrid, España, J. de Haro. 23 p.
8. Cocío Caravasi, E. 2000. Identificación de compuestos antifúngicos en raíces y tubérculos andinos como herramienta biotecnológica para el incremento de la resistencia a patógenos en papa. Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. 22 p.
9. Cornelius, P.; Pearson, A. 2000. Crop protection compendium. Wallingford, Oxon. CAB International. 1 CD.
10. Cruz, JR. De la 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala, a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
11. Díaz Viruliche, L. 2000. Biominerales y efecto biofumigante de los abonos verdes. Annual Meeting of the Organization of Nematologist of Tropical American (32., 2000, Auburn, Alabama. US). Auburn, Alabama, US, ONTA. 51 p.
12. Díaz Viruliche, LP. 2000. Interés fitotécnico de la biofumigación en los suelos cultivados. Tesis Ing. Agr. Cuba, Universidad Agraria de La Habana. 512 p.
13. Duniway, JM.; Ajiwa, H. 1999. Chemical and cultural alternatives to methyl bromide fumigations of soil for strawberry. In: Annual Intern. Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emission Reductions (1999, San Diego, California). Auburn, Alabama, US, s.e. 15 p.

14. El cultivo de zanahoria (en línea). 2000. España, Infoagro. Consultado 12 feb. 2003. Disponible en www.infoagro.com/hortalizas/zanahoria.htm.
15. Estynw, A. s.f. Problemas sanitarios de las hortalizas (en línea). España. Consultado 13 nov. 2002. Disponible en www.herftuit.es/diag/enfermedades.html.
16. Ettlinger, A.; Lundeen. 1994. Compuestos biológicos con perspectiva en medicina y agricultura (en línea). España, s.e. Consultado 13 nov. 2002. Disponible en www.cof.es/pam23/plantas-med.htm.
17. Guatemala. Banco de Guatemala. 2000. Exportaciones FOB e importaciones CIF por partida específica, cultivo de zanahoria, años 1998-2000. Guatemala. 1p.
18. Guidar, OV. 1999. Explicando los mecanismos de la biofumigación, ventajas y limitantes (en línea). US, Newagro. Consultado 13 nov. 2002. Disponible en www.newagro/notices/bolgavar/biofumi/esencia.htm.
19. Kirkegaard, JA. *et al.* 1993. Biofumigation using Brassica species to control pest diseases in horticulture and agriculture. In: Australian Research Assembly on Brassicas (Wagga) (9., 1993, Australia). Proceedings. Ed. By Wrather, R. Australia. p. 77-82.
20. Luc, M.; Sikora, RA.; Bridge, J. 1990. Plant parasitic nematode in subtropical and tropical agriculture. United Kingdom, CAB International. 629 p.
21. Montes, A. 1988. Cultivo de hortalizas. 3 ed. Honduras, Zamorano, Departamento de Horticultura. p. 18-20, 96-98.
22. National Academy of Science. 1978. Control de nematodos parásitos de plantas. México, Limusa. 219 p.
23. National Academy of Sciences. 1987. Regulating pesticides in food. Washington, US, NAS. 12 p.
24. Simmons, CH.; Tarano, JM.; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado. Guatemala, Ed. José de Pineda Ibarra. 1000 p.
25. Solís, F.; Calderón, LF. 1999. Evaluación del efecto biofumigante de diversas fuentes de materia orgánica en el altiplano central de Guatemala; proyecto ICTA, UNIDO, ONCYT. CRSP. Guatemala. 87 p.
26. Talalay, P.; Zheang, Y. 1996. Chemoprotection against cancer by isothiocyanates and glucosinolates. England, Biochemical Society Transactions, Symposium on Bioactive Components of Food. 24:750-865.



Rolando Barrios

11. ANEXOS

CENTRO DE DIAGNÓSTICO PARASITOLÓGICO
RESULTADOS DE LABORATORIO

USUARIO: RAMÓN FLORES

Atentamente trasladamos a usted los resultados del análisis efectuado en este laboratorio

Nematodos por 100 cc de suelo				
No.	Meloidogyne	Helicotylenchus	Pratylenchus	Otros
1	2100	0	0	0
2	0	0	0	0
3	100	0	0	0
4	700	0	0	0
5	100	0	0	0
6	1400	0	0	0
7	4100	0	0	0
8	1000	0	0	0
9	1800	0	0	0
10	2500	0	0	0
11	300	0	0	0
12	100	0	0	0
13	2500	0	0	0
14	4200	0	0	0
15	1700	0	0	0
16	100	0	0	0
17	1100	0	0	0
18	2000	0	0	0
19	0	0	0	0
20	500	0	0	0
21	600	0	0	0
22	4100	0	0	0
23	3400	0	0	0
24	1400	0	0	0
25	4000	0	0	0
26	0	0	0	0
27	200	0	0	0
28	800	0	0	0

Carlos Roberto Cruz
Responsable de Diagnóstico



CENTRO DE DIAGNÓSTICO PARASITOLÓGICO
RESULTADOS DE LABORATORIO

USUARIO: RAMÓN FLORES

Atentamente trasladamos a usted los resultados del análisis efectuado en este laboratorio

Nematodos por 100 cc de suelo				
No.	Meloidogyne	Helicotylenchus	Pratylenchus	Otros
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	100	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	200	0	0	0
8	200	0	0	0
9	100	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	50	0	0	0
13	50	0	0	0
14	50	0	0	0
15	100	0	0	0
16	0	0	0	0
17	200	0	0	0
18	700	0	0	0
19	0	0	0	0
20	100	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	100	0	0	0
24	0	0	0	0
25	200	0	0	0
26	0	0	0	0
27	100	0	0	0
28	50	0	0	0

Carlos Roberto Cruz
Responsable de Diagnóstico



CENTRO DE DIAGNÓSTICO PARASITOLÓGICO
RESULTADOS DE LABORATORIO

USUARIO: RAMÓN FLORES

Atentamente trasladamos a usted los resultados del análisis efectuado en este laboratorio

Nematodos por 100 cc de suelo				
No.	Meloidogyne	Helicotylenchus	Pratylenchus	Otros
S1	0	0	0	0
S2	0	0	0	0
S3	50	0	0	0
S4	0	0	0	0
S5	0	0	0	0
S6	0	0	0	0
S7	200	0	0	0
S8	200	0	0	0
S9	0	0	0	0
S10	0	0	0	0
S11	0	0	0	0
S12	50	0	0	0
S13	50	0	0	0
S14	50	0	0	0
S15	50	0	0	0
S16	0	0	0	0
S17	50	0	0	0
S18	300	0	0	0
S19	0	0	0	0
S20	100	0	0	0
S21	0	0	0	0
S22	0	0	0	0
S23	100	0	0	0
S24	0	0	0	0
S25	100	0	0	0
S26	0	0	0	0
S27	100	0	0	0
S28	0	0	0	0
Nematodos por 10 gr de raíz de zanahoria				
No.	Meloidogyne	Helicotylenchus	Pratylenchus	Otros
R1	0	0	0	0
R2	0	0	0	0
R3	0	0	0	0
R4	0	0	0	0
R5	0	0	0	0
R6	0	0	0	0
R7	0	0	0	0
R8	0	0	0	0
R9	0	0	0	0
R10	0	0	0	0
R11	0	0	0	0
R12	0	0	0	0
R13	0	0	0	0
R14	0	0	0	0
R15	0	0	0	0
R16	0	0	0	0
R17	0	0	0	0
R18	0	0	0	0
R19	0	0	0	0
R20	0	0	0	0
R21	0	0	0	0
R22	0	0	0	0
R23	0	0	0	0
R24	0	0	0	0
R25	0	0	0	0
R26	0	0	0	0
R27	0	0	0	0
R28	0	0	0	0

Carlos Roberto Cruz
Responsable de Diagnóstico



CENTRO DE DIAGNÓSTICO PARASITOLÓGICO
RESULTADOS DE LABORATORIO

USUARIO: RAMÓN FLORES

Atentamente trasladamos a usted los resultados del análisis efectuado en este laboratorio

Nematodos por 100 cc de suelo				
No.	Meloidogyne	Helicotylenchus	Pratylenchus	Otros
S1	0	0	0	0
S2	4000	0	0	0
S3	1200	0	0	0
S4	800	0	0	0
S5	1300	0	0	0
S6	500	0	0	0
S7	8900	0	0	0
S8	4900	0	0	0
S9	1000	0	0	0
S10	0	0	0	0
S11	1800	0	0	0
S12	3200	0	0	0
S13	1600	0	0	0
S14	2400	0	0	0
S15	200	0	0	0
S16	0	0	0	0
S17	2400	0	0	0
S18	1200	0	0	0
S19	1800	0	0	0
S20	300	0	0	0
S21	600	0	0	0
S22	2200	0	0	0
S23	200	0	0	0
S24	0	0	0	0
S25	1200	0	0	0
S26	1200	0	0	0
S27	700	0	0	0
S28	1000	0	0	0
Nematodos por 10 gr de raíz de zanahoria				
No.	Meloidogyne	Helicotylenchus	Pratylenchus	Otros
R1	0	0	0	0
R2	10	0	0	0
R3	20	0	0	0
R4	20	0	0	0
R5	10	0	0	0
R6	10	0	0	0
R7	30	0	0	0
R8	20	0	0	0
R9	20	0	0	0
R10	0	0	0	0
R11	20	0	0	0
R12	10	0	0	0
R13	20	0	0	0
R14	20	0	0	0
R15	20	0	0	0
R16	0	0	0	0
R17	20	0	0	0
R18	20	0	0	0
R19	20	0	0	0
R20	20	0	0	0
R21	10	0	0	0
R22	20	0	0	0
R23	10	0	0	0
R24	0	0	0	0
R25	10	0	0	0
R26	10	0	0	0
R27	20	0	0	0
R28	20	0	0	0

Carlos Roberto Cruz
Responsable de Diagnóstico



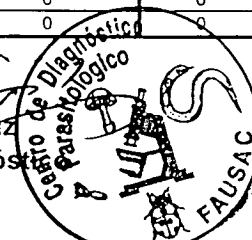
CENTRO DE DIAGNÓSTICO PARASITOLÓGICO
RESULTADOS DE LABORATORIO

USUARIO: RAMÓN FLORES

Atentamente trasladamos a usted los resultados del análisis efectuado en este laboratorio

Nematodos por 100 cc de suelo				
No.	Meloidogyne	Helicotylenchus	Pratylenchus	Otros
S1	0	0	0	0
S2	500	0	0	0
S3	3200	0	0	0
S4	2300	0	0	0
S5	1200	0	0	0
S6	3800	0	0	0
S7	400	0	0	0
S8	2300	0	0	0
S9	8400	0	0	0
S10	0	0	0	0
S11	250	0	0	0
S12	1000	0	0	0
S13	2800	0	0	0
S14	500	0	0	0
S15	4700	0	0	0
S16	100	0	0	0
S17	100	0	0	0
S18	2000	0	0	0
S19	800	0	0	0
S20	4300	0	0	0
S21	800	0	0	0
S22	1600	0	0	0
S23	700	0	0	0
S24	400	0	0	0
S25	4300	0	0	0
S26	4000	0	0	0
S27	8000	0	0	0
S28	2200	0	0	0
Nematodos por 10 gr de raíz de zanahoria				
No.	Meloidogyne	Helicotylenchus	Pratylenchus	Otros
R1	0	0	0	0
R2	10	0	0	0
R3	20	0	0	0
R4	20	0	0	0
R5	10	0	0	0
R6	30	0	0	0
R7	20	0	0	0
R8	20	0	0	0
R9	20	0	0	0
R10	10	0	0	0
R11	20	0	0	0
R12	10	0	0	0
R13	10	0	0	0
R14	20	0	0	0
R15	20	0	0	0
R16	20	0	0	0
R17	20	0	0	0
R18	40	0	0	0
R19	10	0	0	0
R20	20	0	0	0
R21	20	0	0	0
R22	10	0	0	0
R23	10	0	0	0
R24	20	0	0	0
R25	20	0	0	0
R26	10	0	0	0
R27	20	0	0	0
R28	20	0	0	0

Carlos Roberto Cruz
Responsable de Diagnóstico



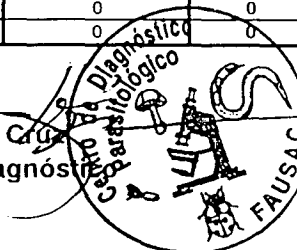
CENTRO DE DIAGNÓSTICO PARASITOLÓGICO
RESULTADOS DE LABORATORIO

USUARIO: RAMÓN FLORES

Atentamente trasladamos a usted los resultados del análisis efectuado en este laboratorio

Nematodos por 100 cc de suelo				
No.	Meloidogyne	Helicotylenchus	Pratylenchus	Otros
S1	1000	0	0	0
S2	2300	0	0	0
S3	2000	0	0	0
S4	600	0	0	0
S5	2300	0	0	0
S6	700	0	0	0
S7	6600	0	0	0
S8	1200	0	0	0
S9	800	0	0	0
S10	1700	0	0	0
S11	1000	0	0	0
S12	1000	0	0	0
S13	800	0	0	0
S14	2500	0	0	0
S15	300	0	0	0
S16	500	0	0	0
S17	1800	0	0	0
S18	6000	0	0	0
S19	3700	0	0	0
S20	2200	0	0	0
S21	1000	0	0	0
S22	500	0	0	0
S23	3200	0	0	0
S24	800	0	0	0
S25	2300	0	0	0
S26	3000	0	0	0
S27	4600	0	0	0
S28	1100	0	0	0
Nematodos por 10 gr de raíz de zanahoria				
No.	Meloidogyne	Helicotylenchus	Pratylenchus	Otros
R1	20	0	0	0
R2	20	0	0	0
R3	20	0	0	0
R4	20	0	0	0
R5	20	0	0	0
R6	20	0	0	0
R7	20	0	0	0
R8	30	0	0	0
R9	10	0	0	0
R10	10	0	0	0
R11	20	0	0	0
R12	20	0	0	0
R13	20	0	0	0
R14	20	0	0	0
R15	20	0	0	0
R16	10	0	0	0
R17	20	0	0	0
R18	20	0	0	0
R19	20	0	0	0
R20	20	0	0	0
R21	20	0	0	0
R22	20	0	0	0
R23	20	0	0	0
R24	20	0	0	0
R25	10	0	0	0
R26	20	0	0	0
R27	30	0	0	0
R28	20	0	0	0

Carlos Roberto Cruz
Responsable de Diagnóstico



POBLACIÓN DE NEMATODOS PARA CADA TRATAMIENTO EN CADA UNO DE LOS SEIS MUESTREOS DE SUELO POR 100 CC

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	TOTAL	MEDIA	RAN MEDIA
T1B1	2100	0	0	0	0	1000	1000	200	225
T1B2	2500	0	0	0	0	1700	1700	340	
T1B3	100	0	0	0	100	500	600	120	
T1B4	1400	0	0	0	400	800	1200	240	
T4B1	700	0	0	800	2300	600	3700	740	785
T4B2	2500	50	50	1600	2800	800	5300	1060	
T4B3	600	0	0	600	800	1000	2400	480	
T4B4	4100	0	0	2200	1600	500	4300	860	
T3B1	1400	0	0	500	3800	700	5000	1000	845
T3B2	300	0	0	1800	250	1000	3050	610	
T3B3	1100	200	50	2400	100	1800	4550	910	
T3B4	3400	100	100	200	700	3200	4300	860	
T6B1	100	0	0	1300	1200	2300	4800	960	1082.5
T6B2	4200	50	50	2400	500	2500	5500	1100	
T6B3	500	100	100	300	4300	2200	7000	1400	
T6B4	800	50	0	1000	2200	1100	4350	870	
T5B1	0	0	0	4000	500	2300	6800	1360	1277.5
T5B2	100	50	50	3200	1000	1000	5300	1060	
T5B3	1700	100	50	200	4700	300	5350	1070	
T5B4	4000	200	100	1200	4300	2300	8100	1620	
T2B1	100	100	50	1200	3200	2000	6550	1310	1492.5
T2B2	1000	200	200	4900	2300	1200	8800	1760	
T2B3	0	0	0	1800	800	3700	6300	1260	
T2B4	0	0	0	1200	4000	3000	8200	1640	
T7B1	4100	200	200	8900	400	6600	16300	3260	2515
T7B2	1800	100	0	1000	8400	800	10300	2060	
T7B3	2000	700	300	1200	2000	6000	10200	2040	
T7B4	200	100	100	700	8000	4600	13500	2700	

ANDEVA PARA POBLACION DE NEMATODOS DESDE LA SIEMBRA HASTA LA COSECHA

	I	II	III	IV	Yi.
T1	200	340	120	240	900
T2	1310	1760	1260	1640	5970
T3	1000	610	910	860	3380
T4	740	1060	490	860	3140
T5	1360	1060	1070	1620	5110
T6	960	1100	1400	870	4330
T7	3260	2060	2040	2700	10060

Y.j 8830 7990 7280 8790
Y.j² 77968900 63840100 52998400 77264100

Y... 32890

Yi.med	Yi. ²
225	810000
1492.5	35640900
845	11424400
785	9859600
1277.5	26112100
1082.5	18748900
2515	101203600

Yijk²
227600
9090900
2939800
2641200
6742500
4848500
26322800

Sum Yi. ²	203799500
Sum Yijk ²	52813300
Sum Y.j. ²	272071500

1. F.C = $Y...^2/tr$ 38634003.6
2. S.C.Tot = $\sum Yijk^2 - F.C.$ 14179296.4
3. S.C.Bloq = $(\sum Y.j^2/t) - F.C.$ 1.00604011
4. S.C. Tra = $(\sum Yi.^2/r) - F.C.$ 12315871.4
5. S.C.error = Tot - (trat + bloq) 1863423.99

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft	Signf
Trat	6	12315871.4	2052645.24	19.8278086	2.66	*
Bloques	3	1.00604011	0.3353467			
Error	18	1863423.99	103523.555			
Total	27	14179296.4				

C.V.% = 27.3913695

Sx = RAIZ (Cme/r) 160.875383
q=(t,glee) 4.67
Wp = 751.288038

	T7	T2	T5	T6	T3	T4	T1
	2515	1492.5	1277.5	1082.5	845	785	225
T1	225	2290	1267.5	1052.5	857.5	620	560
T4	785	1730	707.5	492.5	297.5	60	0
T3	845	1670	647.5	432.5	237.5	0	0
T6	1082.5	1432.5	410	195	0	0	0
T5	1277.5	1237.5	215	0	0	0	0
T2	1492.5	1022.5	0	0	0	0	0
T7	2515	0	0	0	0	0	0

Trat	Media	Gr. Tukey
T7	2515	a
T2	1492.5	b
T5	1277.5	b
T6	1082.5	b
T3	845	b c
T4	785	b c
T1	225	c



FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

LA TESIS TITULADA:

"EVALUACION DE LA BIOFUMIGACION EN EL
CONTROL DE NEMATODOS EN LA PRODUCCION
DE ZANAHORIA (*Daucus carota* L.) EN
- PASTORES, SACATEPEQUEZ".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE:

RAMON ALFREDO FLORES MENDOZA

CARNET:

8390044

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES:

Ing. Agr. Iván Dimitri Santos Castillo
Ing. Agr. Gustavo Adolfo Alvarez V.
Ing. Agr. Francisco Javier Vásquez V.

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía - de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ing. Agr. José Humberto Calderón Díaz
A S E S O R

Ing. Agr. Luis Fernando Solís Samayoa
A S E S O R

Ing. Agr. Alvaro Gustavo Hernández Dávila
A S E S O R

Dr. Ariel Abderraman Ortiz López
DIRECTOR DEL IIA



I M P R I M E

Ing. Agr. Edgar Oswaldo Franco Rivera
D E C A N O

AOL/nm

c.c. Archivo

Control Académico

IIA

APARTADO POSTAL 1545 § 01091 GUATEMALA, C.A.

TEL/FAX (502) 476-9794

e-mail: liusac.edu.gt § <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomia.htm>