

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS



EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LA VARIEDAD LOMAN
DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) UTILIZANDO LA TÉCNICA DE
BIOFUMIGACIÓN EN ICTA – ALAMEDA, CHIMALTENANGO

HERMER ANIBAL AGUIRRE MEJICANOS

GUAREMALA, marzo de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LA VARIEDAD LOMAN
DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) UTILIZANDO LA TÉCNICA DE
BIOFUMIGACIÓN EN ICTA – ALAMEDA CHIMALTENANGO

TESIS

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

POR

HERMER ANIBAL AGUIRRE MEJICANOS
EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO

GUATEMALA, marzo de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

LIC. CARLOS ESTUARDO GALVES BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	ING. AGR. FRANCISCO JAVIER VASQUEZ VASQUEZ
VOCAL PRIMERO	ING. AGR. WALDEMAR NUFIO REYES
VOCAL SEGUNDO	ING. AGR. WALTER ARNOLDO REYES SANABRIA
VOCAL TERCERO	ING. AGR. DANILO ERNESTO DARDON AVILA
VOCAL CUARTO	P. FOR. MIRNA REGINA VALIENTE
VOCAL QUINTO	P. AGR. NERY BOANERGES GUZMAN AQUINO
SECRETARIO	ING. AGR. EDWIN ENRIQUE CANO MORALES

GUATEMALA, marzo de 2008

Guatemala, marzo de 2008

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

Honorables miembros:

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

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LA VARIEDAD LOMAN DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) UTILIZANDO LA TÉCNICA DE BIOFUMIGACIÓN EN ICTA – ALAMEDA, CHIMALTENENGO

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

Esperando que la presente investigación llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

HERMER ANIBAL AGUIRRE MEJICANOS

ACTO QUE DEDICO

- A:** DIOS: Todopoderoso, creador del universo, fuente de fortaleza y sabiduría.
- VIRGEN MARIA Santa madre quien siempre vela por nosotros.
- MIS PADRES Lic. José Hermelindo Aguirre Morales
Matilde Mejicanos Zamora
Por su incondicional esfuerzo en darme la oportunidad de una formación profesional, que este éxito alcanzado sea una muestra de mi gratitud, este triunfo es de ustedes.
- MI ESPOSA Elizabeth Castellanos Palencia de Aguirre, por brindarme siempre su apoyo, amor y comprensión.
- MI HIJO Anibal Daniel Aguirre Castellanos, Por darme la razón para culminar este camino académico.
- MIS HERMANOS Ibette Maribel, Viviam Matilde, José Adolfo, Margori Lucila, Mónica Maria, Luis José, Jorge José y Javier, con mucho amor y cariño.
- MIS CUÑADOS Rodolfo, Julio, Yanet y Enrique, con mucho respeto y cariño.
- MIS SOBRINOS Rodolfo, Fernando, Maribel, Gabriela, Andrea, Julio, Jimena, Melani, Gustavo Adolfo, Luis Enrique que sea un ejemplo de lo que se puede lograr con esfuerzo y dedicación
- MIS ABUELOS Eloisa Morales (Q.E.P.D)
Fulgencio Aguirre (Q.E.P.D)
Oscar mejicanos (Q.E.P.D)
Maria Ana Zamora
Con respeto y reconocimiento especial
- MIS TIOS Por la unión familiar que mantenemos

MIS PRIMOS Con especial cariño.

MIS AMIGOS Francisco Daniel Estrada Azurdia (Q.E.P.D)

Joel Leal Lacán (Q.E.P.D)

Con quienes compartí momentos que siempre estarán presentes en mi memoria. Y todas las personas con quienes comparto una amistad.

TESIS QUE DEDICO

A: Guatemala.

Ciudad Vieja Sacatepequez.

Universidad de San Carlos de Guatemala.

Facultad de Agronomía.

Instituto Normal Para Varones Antonio Larrazaval.

Escuela Nacional Para Varones Fray Matías de Paz.

Agricultores y Campesinos en general.

Todas aquellas personas que contribuyeron a mi formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

A:

MIS ASESORES

Ing. Agr. Humberto Eduardo Carranza Bazini e Ing. Agr. Hermógenes Castillo por la asesoría, orientación y apoyo en la ejecución de la presente investigación.

Ing. Agr. William Escobar por su apoyo en el presente trabajo.

Profesores Maria Guillerma Castellanos Palencia y Miguel Francisco Sánchez por el apoyo técnico en la realización de la presente tesis.

PERSONAL

Everildo Gómez, por su colaboración y apoyo en el trabajo de campo.

Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, ICTA, de la Alameda, Chimaltenango, por su apoyo técnico en la realización y culminación de la presente investigación.

Todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
RESUMEN	iv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. MARCO TEÓRICO	4
3.1 MARCO CONCEPTUAL	4
3.1.1 Descripción del cultivo	4
3.1.2 Clasificación botánica	4
3.1.3 Características del material experimental	5
3.1.4 Plagas y enfermedades	6
A. Plagas	6
B. Enfermedades	7
3.1.5 Técnica de la biofumigación	8
A. Definición de biofumigación	8
B. Bases científicas de la biofumigación	8
C. Biofumigación y materia orgánica	8
D. Brócoli como material biofumigante	9
E. La mostaza como material biofumigante	11
F. Gallinaza como material biofumigante	11
G. Experiencias con biofumigación en Guatemala	12
3.2 MARCO REFERENCIAL	14
3.2.1 Ubicación geográfica	14
3.2.2 Zona de vida y clasificación climática	14
3.2.3 Suelos	14
3.2.4 Biofumigación y control de nematodos	14
3.2.5 Biofumigación y control de hongos	15
3.2.6 Biofumigación y control de insectos	15
3.2.7 Biofumigación y control de flora arvense	16
3.2.8 Biofumigación y control de bacterias y virus	16

A. Bacterias	16
B. Virus	17
3.2.9 Sellos o Coberturas	17
4. OBJETIVOS	18
4.1 General	18
4.2 Específicos	18
5. HIPÓTESIS	19
6. METODOLOGÍA	20
6.1 Equipo e insumos	20
6.2 Descripción de los tratamientos	20
6.2.1 Gallinaza más residuos de brócoli	20
6.2.2 <i>Brassica</i> sp, (mostaza silvestre)	21
6.2.3 Residuos de brócoli	21
6.2.4 Testigo sin biofumigar	21
6.3 Diseño experimental	22
6.3.1 Modelo estadístico	23
6.3.2 Diagrama del experimento	24
6.3.3 Distribución de los tratamientos en el campo	25
6.3.4 Detalle de la unidad experimental	26
6.3.5 Diagrama de la unidad experimental	27
6.4 Manejo del ensayo	28
6.4.1 Manejo agronómico	28
A. Labores pre tratamiento	28
B. Siembra	28
C. Riego	28
D. Control de flora arvense	28
E. Control fitosanitario	28
F. Fertilización	29
G. Eliminación del follaje	29
H. Cosecha	29
6.4.2 Manejo experimental	29
6.4.3 Variables de respuesta	29
6.5 Toma de datos en el campo	29

6.5.1	Parámetros cualitativos y cuantitativos de la producción de papa	30
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
7.1	Flora arvense	31
7.2	Nemátodos	33
7.3	Nutrientes del suelo	37
7.4	Producción de la variedad Loman de papa	42
7.4.1	Producción de primera calidad de la variedad Loman de papa	42
7.4.2	Producción de la variedad Loman de papa de segunda calidad	44
7.4.3	Producción total de la variedad Loman de papa	47
8.	CONCLUSIONES	50
9.	RECOMENDACIONES	51
10.	BIBLIOGRAFÍA	52

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Tratamientos de biofumigación a evaluar en la variedad Loman de papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	22
2	Diagrama de parcelas divididas utilizadas en el estudio de biofumigación en la variedad Loman de papa	24
3	Especies de flora arvense determinadas después de la biofumigación en la variedad Loman de papa	32
4	Nematodos determinados en 7 tratamientos seleccionados después de la biofumigación en la variedad Loman de papa	36
5	Nematodos determinados y cuantificados después de la biofumigación en la variedad Loman de papa	37
6	Análisis químico de suelo de 7 tratamientos antes y después de la biofumigación en papa	37
7	Análisis de varianza al 95% de significancia para la producción de la variedad Loman de papa de primera calidad	42
8	Prueba de medias de Duncan al 95% de probabilidad de coberturas o sellos de la producción de la variedad Loman de papa de primera calidad	42
9	Prueba de medias de Duncan al 95% de probabilidad de la Interacción de materia orgánica y sellos de la producción de la variedad Loman de papa de primera calidad	43
10	Análisis de varianza al 95% de significancia para la producción de la variedad Loman de papa de segunda calidad	44
11	Prueba de medias de Duncan al 95% de probabilidad de materia orgánica en la producción de la variedad Loman de papa de segunda calidad	45
12	Prueba de media de Duncan al 95% de probabilidad de sellos o coberturas utilizados en la producción de la variedad Loman de papa de segunda calidad	46
13	Análisis de varianza al 95% de significancia para la producción total de la variedad Loman de papa	47
14	Prueba de medias de Duncan al 95% de probabilidad de la producción total de materia orgánica de la variedad Loman de papa	47

15	Prueba de media de Duncan al 95% de probabilidad para coberturas de la producción total de la variedad Loman de papa	48
----	--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Localización de los precursores de los isotiocianatos en la célula vegetal	10
2	Reacción de la formación de isotiocianatos, glucosa, iones sulfato y nitrilos a partir de los glucosinolatos	10
3	Reacción de reducción del amonio en amoniaco	12
4	Distribución al azar de tratamientos y sellos en el campo	25
5	Diagrama de la unidad experimental	27
6	Especies de flora arvense cuantificadas en 7 tratamientos seleccionados en la variedad Loman de papa después de la biofumigación	32
7	Nematodos determinados antes de la biofumigación en la variedad Loman de papa	33
8	Nematodos cuantificados en 7 tratamientos después de la biofumigación en la variedad Loman de papa	35

RESUMEN

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LA VARIEDAD LOMAN DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) UTILIZANDO LA TÉCNICA DE BIOFUMIGACIÓN EN ICTA - ALAMEDA CHIMALTENANGO.

YIELD EVALUATION OF LOMAN VARIETY POTATO (*Solanum tuberosum* L.) USING BIOFUMIGATION TECNICS AT ICTA – ALAMEDA, CHIMALTENANGO

El crecimiento de habitantes en el mundo está provocando un aumento de la productividad agrícola para poder así satisfacer los requerimientos alimenticios de la población, lo que conlleva a una acelerada práctica del monocultivo y a una agricultura intensiva, lo cual ha conducido a un desequilibrio en el ambiente, que favorece un mayor desarrollo de plagas en los cultivos que generalmente tienen como hábitat el suelo, obligando al agricultor a utilizar técnicas drásticas de desinfección química. Debido a las exigencias de calidad del mercado de alimentos en el ámbito nacional e internacional se están vedando cada vez más las posibilidades de que el pequeño y mediano agricultor de los países en desarrollo puedan acceder a estos mercados a causa de que los agricultores abusan de los productos químicos para la supresión de plagas y enfermedades que afectan a sus cultivos, provocando la degradación del suelo y la disminución de las producciones.

Es por ello que se hace necesario buscar otras alternativas, especialmente de carácter orgánico que ayuden a evitar el uso de productos químicos y poder cosechar productos más sanos y limpios para el consumo humano y/o animal, y así evitar problemas secundarios como el rechazo de su oferta en el mercado, la contaminación del ambiente y la disminución de las cosechas, problemas que se pueden contrarrestar con el uso de la técnica de la biofumigación la cual consiste en la acción de las sustancias volátiles producidas en la biodegradación de la materia orgánica.- La biofumigación es una alternativa tecnológica totalmente orgánica que favorece la reducción de costos de campo, se obtienen productos más sanos y limpios, adiciona nutrientes, mejorando la actividad biológica y la estructura del suelo, además de mermar las poblaciones de plagas potenciales en el cultivo.- La presente investigación se realizó en los campos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA) en la Alameda Chimaltenango, el experimento consistió de tres tratamientos con materiales biofumigantes los cuales fueron: 1) aplicar 1.25 kg/m² de gallinaza más 2.50 kg/m² de residuos de brócoli. 2) aplicar 2.50 kg/m² de mostaza silvestre; 3) aplicar 2.50 kg/m² de residuos de brócoli; además de un testigo sin biofumigar. Así mismo se evaluaron distintos materiales que se utilizaron como coberturas o sellos cuya función fue evitar que los gases producidos en la

descomposición de la materia orgánica escaparan a la atmósfera, siendo estos: película plástica, broza, rastrojos de frijol, agua y acículas de pino. Las variables de respuesta fueron: flora arvense, nemátodos, contenido de nutrientes en el suelo y producción.

En los resultados obtenidos se comprobó que la cantidad de papa producida con la técnica de la biofumigación superó a la producida con el testigo sin biofumigar en un 58%. También se demostró que con la técnica de la biofumigación se incrementan las cantidades de fósforo (P) en un 15%; cobre (Cu) en un 3.8%; hierro (Fe) en un 321.4%; Zinc (Zn) en un 100%; manganeso (Mn) en un 13.14%; calcio (Ca) en un 48.4%; potasio (K) en un 100% y magnesio (Mg) en un 259.3% en comparación con las cantidades registradas antes de la biofumigación.

El tratamiento de residuos de brócoli con sello de película plástica optimizó la supresión y/o control de la flora arvense, nemátodos del suelo y mejoró las condiciones del mismo para la obtención de una mejor producción en el cultivo de papa.

Considerando los resultados anteriores se recomienda la utilización de la gallinaza más residuos de brócoli a una dosificación de 1.25 y 2.50 kg/m² respectivamente, así como también emplear la técnica de biofumigación para mejorar el contenido de nutrientes del suelo y evitar el uso de fertilizantes químicos. Por último se recomienda el uso de los residuos de brócoli como fuente de materia orgánica y la película plástica como sello o cobertura para el control de patógenos del suelo en el cultivo de la variedad Loman de papa.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de habitantes en el mundo está provocando un aumento de la productividad agrícola para poder así satisfacer los requerimientos alimenticios de la población. Esto conlleva a una acelerada práctica del monocultivo y a una agricultura intensiva.

Estas prácticas han conducido a un desequilibrio en el medio ambiente que favorece un mayor desarrollo de plagas en los cultivos que generalmente tienen como hábitat el suelo, obligando al agricultor a utilizar técnicas drásticas de desinfección química del mismo, provocando su eventual deterioro, como consecuencia causa al final, la disminución de la producción.

Una alternativa para mantener el suelo sano en el cual se puedan desarrollar los cultivos y obtener buenas producciones es la técnica de la biofumigación, la cual se define como la acción de las sustancias volátiles producidas en la biodegradación de la materia orgánica y constituye una opción totalmente orgánica y limpia, que se aplica al suelo la cual cumple diferentes acciones entre las que están: ser un desinfectante eficaz del suelo, que a la vez adiciona nutrientes, mejorando la actividad biológica y la estructura del suelo. La técnica incrementa su eficacia en el tiempo, cuando forma parte de un sistema de producción integrada.

Entre las ventajas de utilizar la técnica de la biofumigación está el bajo costo que representa en comparación con los productos químicos, ya que los materiales biofumigantes son constituidos por diferentes tipos de materia orgánica tal como rastrojos, abonos verdes, residuos agroindustriales, estiércol de ganado bovino, equino, caprino, ovino, entre otros, dependiendo su eficacia de la dosis y el método de aplicación. No se conocen efectos negativos sobre el ambiente y la salud humana (3).

En la presente investigación se evaluó esta técnica de biofumigación, en la cual se utilizaron tres fuentes de materia orgánica. Los materiales orgánicos que se utilizaron fueron: gallinaza, la cual libera metano y CO₂, residuos de brócoli y *Brassica sp* (mostaza silvestre) que liberan isotiocianatos en diferentes proporciones. Así mismo se evaluaron distintos materiales que se utilizaron como coberturas o sellos, cuya función es evitar que los gases producidos en la descomposición de la materia orgánica se escapen a la atmósfera; siendo estos: película plástica, broza, rastrojos de frijol, agua y acículas de pino.

El experimento constó de tres repeticiones, tres tratamientos más un testigo (no biofumigado) y cinco coberturas o sellos. Se condujo en condiciones de campo abierto y tuvo una fase de campo de 7 meses (enero – julio). Para su ejecución y análisis se utilizó el diseño de bloques completos al azar, en arreglo de parcelas divididas.

Con los resultados de la investigación se demostró que el tratamiento de gallinaza más residuos de brócoli a una dosificación de 1.25 y 2.50 kilogramos por hectárea respectivamente y utilizando el sello o cobertura de película plástica presenta los mejores resultados, pues optimizó el control y/o supresión de la flora arvense, reportando 30 unidades por metro cuadrado. En la evaluación de nemátodos se presentó un incremento en la cantidad y variabilidad de géneros en el suelo, haciéndose más evidente en los géneros no parasiticos. En el análisis químico del suelo se manifestó un incremento en el contenido de nutrientes y se mejoraron las condiciones del mismo para la obtención de una mejor producción del cultivo de papa tanto de primera como de segunda calidad, por lo cual se recomienda la utilización de este tratamiento a la dosificación ya mencionada.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las exigencias de calidad del mercado de alimentos en el ámbito nacional e internacional, están vedando cada vez más las posibilidades de que el pequeño y mediano agricultor de los países en desarrollo puedan acceder a estos mercados, debido a que los agricultores abusan de los productos químicos para la supresión de plagas y enfermedades que afectan a sus cultivos, provocando la degradación del suelo y que las producciones agrícolas disminuyan cada vez más.

Es por ello que se hace necesario buscar otras alternativas especialmente de carácter orgánico, que ayuden a evitar el uso de productos químicos y poder cosechar productos más sanos y limpios para el consumo humano y/o animal, evitando así problemas secundarios como el rechazo de su oferta en el mercado, la contaminación del ambiente y la disminución de las cosechas problemas que se pueden contrarrestar con el uso de la técnica de la biofumigación para lo cual surgen los siguientes cuestionamientos: ¿Mediante la técnica de la biofumigación se podría definir con cual de los materiales orgánicos utilizados se tendrá una mejor producción que en el testigo? ¿Se podrá comprobar que efecto se dará sobre el contenido de los nutrientes del suelo, luego de aplicada la técnica de biofumigación? ¿Con la aplicación de la técnica de la biofumigación se lograría seleccionar algún material orgánico y algún sello evaluado que logren aumentar la producción de papa mediante la supresión y/o control de patógenos del suelo?

La biofumigación es una alternativa tecnológica totalmente orgánica, que favorece la reducción de costos de campo, se obtienen productos más sanos y limpios, adiciona nutrientes, mejorando la actividad biológica y la estructura del suelo, además de mermar las poblaciones de plagas potenciales en el cultivo.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO DE LA VARIEDAD LOMAN DE PAPA

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es una planta dicotiledónea, herbácea, suculenta y de características anuales por su parte aérea y, perenne por sus tubérculos (tallos subterráneos) que se desarrollan al final de los estolones que nacen del tallo principal y a veces varios tallos, según el número de yemas que hayan brotado del tubérculo. Los tallos son de sección angular y en las axilas de las hojas con los tallos se forman ramificaciones secundarias (17).

3.1.2 CLASIFICACIÓN BOTÁNICA

DOMINIO	Eucariota
REINO	Plantae
DIVISION	Tracheophyta
SUBDIVISIÓN	Pynophyta (Gymnospermae)
SUBCLASE	Dicotiledóneas
ORDEN	Polemoniales
FAMILIA	Solanaceae
GÉNERO	<i>Solanum</i>
ESPECIE	<i>Solanum tuberosum</i> L.
VARIEDAD	Loman (3)

3.1.3 CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL EXPERIMENTAL

Se utilizó el clon de papa denominado "Loman" el cual tiene mucha demanda en el mercado, pero debido a la degradación que ha ido sufriendo la semilla se ha vuelto muy susceptible al ataque del tizón tardío, por lo que requiere la utilización de pesticidas para poder convivir con esta enfermedad, lo que reduce la producción e incrementa los costos.

Características:

- Altura de la planta de 0.6 a 0.7 metros.
- Variedad de origen Holandés.
- Susceptible al tizón tardío (*Phytophthora infestans*).
- Tubérculo alargado y ovoide.
- No florece.
- Materia seca de 17 a 20%.
- Ojos blancos superficiales.
- Color externo del tubérculo amarillo crema.
- Color interno del tubérculo crema.
- Tiene de 2 a 5 tallos por planta.
- Distancia de siembra recomendada 0.75 a 1 metro entre surcos y 0.25 a 0.30 metros entre planta.
- Ciclo del cultivo 70 a 90 días.
- Rendimiento de 15 a 20 ton/ha
- Altitud de 1900 a 2700 msnm (12).

3.1.4 PLAGAS Y ENFERMEDADES EN LA VARIEDAD LOMAN

A. plagas.

Las plagas más comunes del suelo: Gallina ciega (*Phylophaga* sp.); Gusanos cortadores, tierreros, nocheros (*Agrotis* sp.; *Feltia* sp.; *Prodenia* sp.) y nemátodos como *Meloidogyne* sp. Para su control el agricultor utiliza de manera tradicional previo a la siembra o al momento de la misma, productos granulados como; Ethoprop, Carbofuran, entre otros, según lo indican sus etiquetas.

Contra el minador de la hoja (*Liriomyza* sp.) utiliza Abamectin, alternándolo con Endosulfan. Para combatir las tortuguillas (*Leptinotarsa* sp.) aplica productos como Bifenthrin o Metamidofost.

La plaga de mayor importancia económica en la papa es la polilla o palomilla, porque ataca directamente al tubérculo. Existen dos especies: *Scrobipalopsis solanivora* y *Pthorimaca operculella*. La polilla sobrevive a temperaturas de 10 a 25 grados centígrados, el periodo de oviposición es de seis días, poniendo cada hembra 30 huevos en total. El ciclo biológico es aproximadamente: huevo 6 a 10 días, larva 10 a 15 días, pupa 8 a 10 días, adulto 8 a 10 días. Los huevos son depositados en el haz y en el envés de las hojas. El estadio larval afecta a las hojas haciendo galerías y devorando parte de las mismas. Las larvas bajan luego a la tierra y llegan a los tubérculos, esto en cuanto a *Pthorimaca operculella* se refiere.

La *S. solanivora* oviposita en los tallos y bases de la planta, al emerger la larva se traslada de inmediato al suelo buscando los tubérculos. Puede hacerse un control cultural así: a) Usar semillas sanas y libres de cualquier enfermedad o plaga; b) Destruir los tubérculos infestados; c) Sembrar a no menos de 10 centímetros de profundidad; d) Efectuar calzas o aporques elevados; e) Sembrar en contorno para que la erosión no descubra los tubérculos ; f) Controlar malezas que actúen como hospederos; g) Defoliar hasta el nivel del suelo y destruir los restos de plantas y cosechas al completarse el ciclo del cultivo; h) Cosechar 10 días después de la defoliación, pues cosechas tardías aumentan el riesgo de ataque; i) Evitar que queden en el campo tubérculos tirados de un día para otro; j) Hacer rotación del cultivo (9).

El control químico debe hacerse directamente sobre la base del tallo y efectuar aspersiones con boquilla cónica sobre la planta y de arriba hacia abajo. Pueden aplicarse productos organofosforados para su control (9).

La mosca blanca (*Bemisia* sp.) es otra plaga de la papa. Se trata de un insecto portador de virus, el cual requiere la conducción de un manejo integrado y, sobre todo, del uso racional de todos aquellos agroquímicos que sean propicios para su control. Entre éstos pueden utilizarse Bifenthrin, Metamidofost, Carbofuran, entre otros, los cuales deben ser rotados y combinados para su mejor control (9).

B. Enfermedades

a. Pudrición anular

Esta enfermedad es producida por *Corynebacterium sepe-donicum*. Las áreas internervales de los folíolos de los tallos afectados se amarillean, sus bordes se enrollan hacia adentro y se vuelven necróticos. El marchitamiento es progresivo. Si se corta el tallo a nivel del suelo y se presiona, brota un líquido cremoso. Los síntomas característicos de la enfermedad aparecen en los tubérculos antes o después de la cosecha. Cuando se hace un corte de los tubérculos infestados puede observarse en primer término un anillo de manchado vascular de color amarillo claro y cierta cantidad de exudado bacteriano que aumenta al presionar el tubérculo. Se controla utilizando semilla sana y se podrán hacer aplicaciones de Sulfato de Estreptomicina y desinfectar la herramienta con formol (12).

b. Marchites bacterial

Es provocada por *Pseudomonas-Ralstonia solanacearum*. Sus síntomas consisten en falta de desarrollo, marchites, ennegrecimiento de tejidos vasculares y rajaduras de los tallos. Las plantas jóvenes son más susceptibles. En los tubérculos se observa un anillo oscuro al ser cortado. El programa de control incluye una buena desinfección de suelo, uso de semilla certificada, aplicación de productos a base de Oxidocloruro de cobre (Bactericidas); eliminación de plantas infectadas, control de insectos vectores como homópteros, lepidópteros y coleópteros; y rotación de cultivos no solanáceos. (12).

c. Roña o sarna negra

Incitada por *Rhizoctonia solani*. Los tubérculos presentan pequeñas costras duras de color pardo o negro, que semejan partículas de lodo o barro. Cuando son utilizados para semilla el punto de crecimiento puede morir. Si las plantas son infectadas en crecimiento pueden verse los tallos podridos en el cuello, al nivel del suelo dando como resultado la formación de tubérculos rojizos o verdosos y de tamaño pequeño. Se controla utilizando semilla certificada, haciendo rotación del cultivo y aplicando al pie del tallo Etridiazolo-Tiofanato metil, Pentaclorinitrobenzeno o Captan. No conviene usar abonos orgánicos en exceso (12).

d. Tizón tardío

Es provocado por *P. infestans*. se presenta en casi todas las regiones en donde se cultiva la papa, pero con mayor fuerza en áreas en donde el clima es húmedo y moderadamente frío. La enfermedad puede destruir el follaje y los tallos; puede afectar también a los tubérculos y destruir toda la planta. Al inicio aparecen en los ápices o bordes de las hojas inferiores, manchas circulares o irregulares acuosas. En tiempo húmedo las manchas se extienden con rapidez y forman zonas pardas con bordes irregulares.

Se controla usando semilla certificada y aplicando periódicamente Mancozeb, Clorotalonil, Hidróxido de cobre o Metiram (12).

e. Tizón temprano

Ocasionado por *Alternaria solani*. Las hojas presentan manchas circularles pequeñas pero después llegan a medir hasta un centímetro, con círculos concéntricos. En las hojas se presentan varias lesiones. Se controla con aspersiones de Captan, Zineb, Metalaxil, Oxadixyl, Iprodiona o Fosetil Al (12).

3.1.5 Técnica de la Biofumigación

El concepto “Biological fumigation” fue utilizado por primera vez en el año de 1,993 por Kirkegaard et al. empleando el término biofumigación y apareció por primera vez en la revista internacional Plant and Soil en 1,994 (23).

A. Definición de biofumigación

Biofumigación se define como “La acción de las sustancias volátiles producidas en la biodegradación de la materia orgánica en el control de los patógenos de las plantas, incrementando su eficacia cuando se incluyen en un sistema de manejo integrado de cultivos (4).

B. Bases científicas de la biofumigación

La biofumigación utiliza los gases y otros productos resultantes de la biodegradación de las enmiendas orgánicas y residuos agroindustriales, como fumigantes para el control de los organismos patógenos del suelo, para lo cual debe retener al menos durante dos semanas los gases biofumigantes producidos en la biodegradación de la materia orgánica, ya que su efecto en la mayoría de los casos no es biocida sino biostático, por lo que es necesario prolongar en el tiempo su acción sobre patógenos del suelo como nemátodos, hongos, insectos y bacterias (4).

C. Biofumigación y materia orgánica

La adición de materia orgánica al suelo para mejorar la fertilidad y controlar plagas y enfermedades es una práctica casi tan antigua como la agricultura. Se han ensayado una amplia variedad de materiales como enmiendas al suelo para controlar nemátodos, hongos fitoparásitos del suelo y flora arvense. Estos materiales incluyen estiércol de cabra, oveja, y vaca, residuos de industrias papeleras y forestales, de industrias pesqueras y de marisqueras, numerosos subproductos de agricultura, alimentación y otras industrias, así como residuos de

plantas con compuestos alelopáticos con los que se ha obtenido una eficacia similar a los fumigantes convencionales, y al mismo tiempo que mejora las características del suelo y la nutrición de la planta (4).

Es recomendable alternar el empleo de rescoldos agrícolas como residuos de brócoli, tabaco, bagazo de caña entre otros, con abonos verdes, especialmente de brassicas, empleando 5-8 kg por metro cuadrado de materia verde, aunque también se pueden aplicar combinaciones de leguminosas con gramíneas. El cultivo de *brassicas* después de la biofumigación nos puede servir como bioindicadores de la posible fitotoxicidad, puesto que la germinación de las semillas es sensible a las sustancias fitotóxicas, al mismo tiempo que son muy sensibles a los nematodos fitoparasíticos y permiten detectar las áreas del cultivo donde la biofumigación no es eficaz, pudiendo actuar como plantas trampa y al incorporarlas al suelo, como biofumigantes (4).

Se han ensayado como enmiendas al suelo, para el control de nemátodos y otros patógenos como hongos y larvas de insectos, materiales con alto contenido en nitrógeno que generan amoníaco, el cual actúa como un nematicida en el suelo. La adición de quitina o materiales quitinosos al suelo no sólo genera amoníaco sino también estimula las actividades de la microflora quitinolítica en el suelo. Muchos microorganismos quitinosos son efectivos en la destrucción de huevos de nemátodos y micelios de algunos hongos fitopatógenos (4).

Estos tratamientos pueden contribuir al control de enfermedades de origen edáfico particularmente cuando se combinan con otras alternativas por ejemplo, se ha estudiado la adición al suelo de enmiendas complementadas con solarización y ofrece un potencial considerable de incremento de la eficacia de las enmiendas contra los patógenos con reducción de las cantidades necesarias de materia orgánica por hectárea (8).

D. Brócoli como material biofumigante

Los residuos de brócoli es uno de los materiales biofumigantes a evaluar en la presente investigación, por lo cual a continuación se describe su mecanismo de acción:

La inflorescencia de brócoli contiene la presencia de glucosinolatos aproximadamente en 1 a 2%, los glucosinolatos también llamados heterósidos sulfocianogénéticos azufrados son en su mayoría 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. 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

hidrolizan a los glucosinolatos son las mirosinasas (tioglucosidasas) que al ejercer su acción enzimática, dan como producto resultante los isotiocianatos volátiles denominados sevenoles (7).

En la figura (1) se presenta la localización de los precursores de los isotiocianatos volátiles en el interior de la célula vegetal de plantas de brócoli.

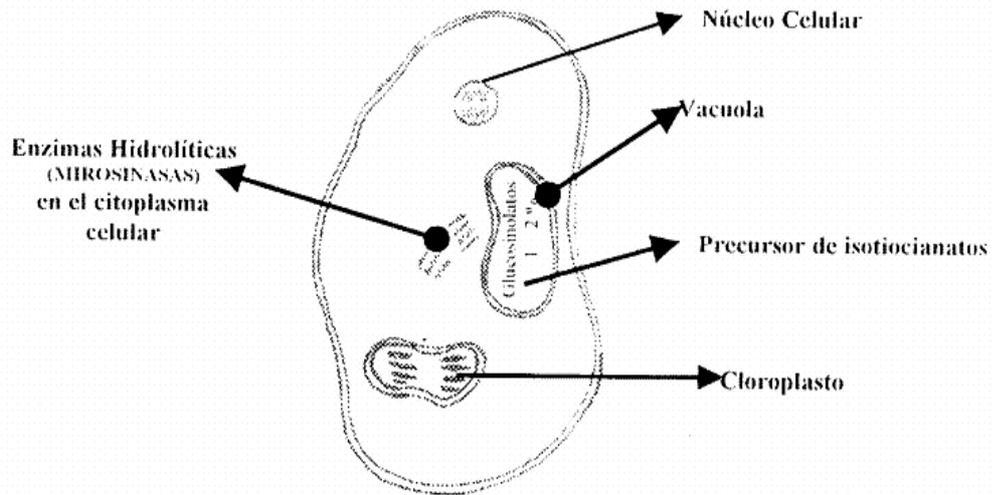


Figura 1. Localización de los precursores de los isotiocianatos en la célula vegetal (2).

En la figura 1 se observa que 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, no sólo se rompen las paredes y membranas celulares, sino que también las vacuolas, liberándose los glucosinolatos hacia el citoplasma de la célula, de tal forma que reaccionan formando un nuevo compuesto, los isotiocianatos, glucosa, iones sulfato y nitrilos, tal como se muestra en la figura siguiente (15).

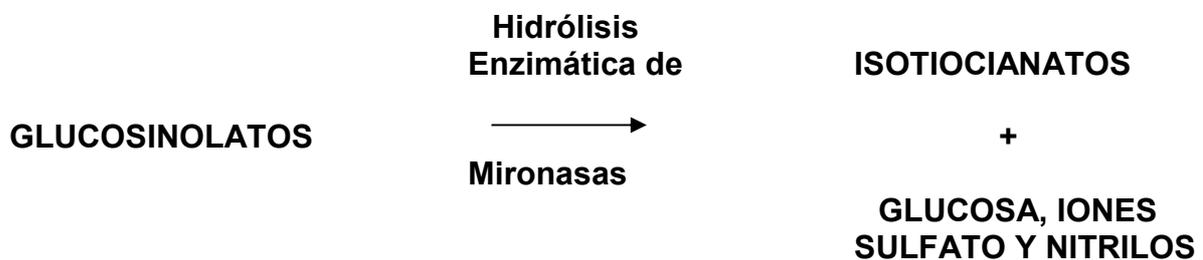


Figura 2 Reacción de la formación de Isotiocianatos, glucosa, iones sulfato y nitrilos a partir de los glucosinolatos.

Los isotiocianatos son gases que al ser liberados dentro del suelo son activos contra nemátodos, insectos del suelo, flora arvense y la gran mayoría de hongos del suelo. El modo de acción de los isotiocianatos consiste en inactivar el grupo –SH-1 (sulfhídrico) de las enzimas de los patógenos, lo cual causa la desnaturalización de las proteínas y enzimas de las células del patógeno (15).

Debe tenerse cuidado al momento de incorporar los residuos de brócoli al suelo, puesto que al momento de realizar el cortado fino se inicia la reacción que forma los isotiocianatos, la cual continúa dentro del suelo al ser degradado es 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 (2).

E. La mostaza como material biofumigante

La mostaza es una planta anual y pertenece a la familia de las *Brassicaceae*, su tallo es de unos 60 cm de altura, es cilíndrico, ramoso, estriado y peloso; sus hojas son alternas; sus flores forman racimos terminales muy largos; su fruto está encerrado en vainas pelosas, con tres nudos terminados por un cornezuelo de dos filos algo arqueados y hasta de dos cm de largo; florece por el mes de junio y al madurar el fruto, este está constituido por una semilla esférica muy pequeña de color rojizo (22).

La mostaza pasa por el mismo proceso natural de biodegradación y por consiguiente por el mismo proceso de liberación de isotiocianatos volátiles que el brócoli. 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 del género *Brassica* (15).

F. Gallinaza como material biofumigante

En la descomposición de la gallinaza dentro del suelo ocurren una serie de reacciones que originan diversos compuestos. Entre estos compuestos producidos, el amoníaco es el de mayor interés por su gran potencial biofumigante. Se ha estudiado que durante la fase inicial de descomposición del estiércol fresco de gallina dentro del suelo se liberan sustancias volátiles y ácidos orgánicos que producen 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 (15).

La reacción general a partir de la cual por un proceso de reducción se produce amoníaco a partir de amonio se presenta en la figura 3

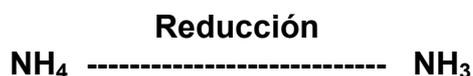


Figura 3. Reacción de reducción del amonio en amoníaco

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 pasar por un procesamiento de deshidratación 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 del estiércol de gallina en fresco, ya que en este caso no causa problemas al cultivo debido a que se aplica durante cuatro a seis semanas y se le agrega un sellador de agua para retener los gases dentro del suelo; luego de transcurrido el tiempo estipulado se debe airear el suelo lo suficiente para liberar el exceso de amoníaco y otros gases presentes y finalmente se procede a la siembra y/o trasplante del cultivo de interés (15).

G. Experiencias con biofumigación en Guatemala

Para comprobar la eficiencia de la biofumigación en Guatemala, el ICTA por medio de diferentes proyectos ha realizado estudios utilizando gallinaza como fuente de materia orgánica en brócoli y tomate en Chimaltenango y en Zacapa con melón y tabaco. Los resultados indican que en el brócoli se redujo la incidencia de la enfermedad hernia de las coles, producida por el hongo *Plasmodiophora brassicae* en suelos infestados, así como también el control de otros patógenos y diversas especies de flora arvense (7).

En melón y semilleros de tabaco los resultados en cuanto al control de plagas del suelo fueron similares y el desarrollo vegetativo de las plantas y por ende la disponibilidad de nutrientes en el suelo, se hizo evidente al incrementarse los rendimientos (7).

En arveja china se evaluó el efecto biofumigante de materiales orgánicos de origen animal y vegetal, donde todos los tratamientos fueron instalados con plástico (solarizado) y con sello de agua, se determinó que los mejores tratamientos para el control de flora arvense

fueron la gallinaza con y sin solarizado, pulpa de café con y sin solarizado además de residuos de brócoli más sello de agua. Los nemátodos del género *Rabditis* no parasitico se incrementan con las adiciones de materia orgánica, con solarizado disminuyen. Al aplicar gallinaza se aumenta el contenido de fósforo, potasio, zinc, manganeso y calcio (8).

En el cultivo del brócoli se determinó el efecto biofumigante de diferentes fuentes de materia orgánica y la combinación del material al efecto del solarizado. La dosis de materia orgánica usada fue de 5 kg por metro cuadrado (11 lb por metro cuadrado). Los tratamientos evaluados fueron: el testigo tradicional, *Brassica* sp. residuos de brócoli, estiércol de ganado vacuno, gallinaza pura y el testigo absoluto. Los resultados indicaron que con el uso de la biofumigación, la flora arvense se redujo considerablemente. Los nemátodos de los géneros *Rabditis*, *Pratylenchus*, *Aphelenchus* se incrementan con las adiciones de materia orgánica, con solarizado disminuyen, los cuales no son de importancia en brócoli. En general los elementos mayores y menores que se incrementan por el efecto de biofumigación y el solarizado son: Fósforo (P), Cobre (Cu), Hierro (Fe) y potasio (K) y se mejora el % de materia orgánica del suelo (11).

En el cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) se evaluaron seis tratamientos de biofumigación para el control de nemátodos del suelo, utilizando como material biofumigante residuos de brócoli y/o gallinaza, más un testigo absoluto, al cual no se le añadió ningún residuo orgánico biofumigante, ni producto químico para el control de nemátodos.

Los resultados obtenidos fueron: De los tratamientos biofumigantes aplicados al suelo el que mejor acción nematicida ejerció fue el de aplicar 5 kg/m² de gallinaza, ya que liberó durante las cinco semanas que duró el tratamiento suficiente amoníaco para poder reducir las poblaciones de *Meloidogyne* sp. a 0 durante los primeros 60 días después de la siembra de zanahoria, presentando una población promedio total durante el ciclo del cultivo de 225 nemátodos por 100 cc de suelo, por lo cual se obtuvo únicamente un 12% de raíces con daño por nemátodos.

El testigo (sin biofumigación) y los otros cinco tratamientos biofumigantes la población de nemátodos presentes en el suelo presentó un 80% de raíces con daño por nemátodos y en los tratamientos biofumigantes 67%, y 73% de raíces con daño por nemátodos.

Los tratamientos biofumigantes no afectaron el normal desarrollo de la raíz de zanahoria, puesto que para todos los tratamientos biofumigantes, incluyendo al testigo la longitud de zanahoria osciló entre los 15 y 19 cm con un peso entre 180 y 200 gr/raíz (17).

3.2 MARCO REFERENCIAL

3.2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El estudio se llevó a cabo en el Centro experimental del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola ICTA, se encuentra en el Departamento de Chimaltenango a 54 km de la ciudad capital, está ubicado a 1,786 msnm. Geográficamente se localiza en las siguientes coordenadas: 14⁰ 39' 30" de latitud norte y 90⁰ 49' 30" de longitud oeste (20).

3.2.2 ZONA DE VIDA Y CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

El área de estudio se encuentra dentro de la zona de vida Bosque húmedo montano bajo subtropical.

La temperatura promedio es de 17⁰ centígrados, con una precipitación pluvial media anual de 1,100 mm, distribuidos de mayo a noviembre y una humedad relativa del 80% (19).

3.2.3 SUELOS

Los suelos de la región están clasificados dentro de la serie Tecpán, con una textura franco arenosa, fertilidad natural regular, topografía plana y buen drenaje (31).

3.2.4 BIOFUMIGACIÓN Y CONTROL DE NEMATODOS

La acción de los microorganismos sobre la materia orgánica durante su descomposición produce gran cantidad de productos químicos que pueden actuar en el control de los patógenos del suelo. El amonio, nitratos, sulfhídricos y un gran número de sustancias volátiles y ácidos orgánicos pueden producir una acción nematicida directa y afectar la eclosión de los huevos o la movilidad de los nemátodos juveniles (26).

Se ha determinado la capacidad de los microorganismos en la supresión de patógenos de plantas y se encontró que el contenido de ureasa y quitinaza están inversamente correlacionadas con el número de nódulos de *Meloidogine arenaria* (16).

Se ha podido reconocer la actividad nematicida del amonio al estudiar el empleo de amoníaco anhidro como fertilizante nitrogenado, al comprobar que aplicado por inyección a la concentración de 300 – 900 mg kg⁻¹ de suelo, reducía los problemas de nemátodos.

Experimentos posteriores con urea, que se convierte en amonio por acción de la ureasa existente en el suelo, muestran que es un buen nematicida si se aplica en cantidades superiores a 300 mg de N por kg⁻¹ de suelo (14).

El contenido de nitrógeno no es el único factor considerado cuando la materia orgánica es utilizada como nematicida. El carbono es también importante, puesto que de él depende la metabolización del nitrógeno por los microorganismos para convertirlo en proteína y otros compuestos. En ausencia de fuentes de carbono, el amonio y los nitratos se pueden acumular y causar fitotoxicidad. Se ha demostrado que la materia orgánica con una relación C/N entre 8-20 tiene actividad nematicida sin efecto fitotóxico.

La cutícula de los nemátodos está constituida por material proteico con una capa de lipoproteínas y la principal estructura de la cubierta del huevo es quitina, las enzimas de mayor interés son las enzimas proteolíticas y quitinolíticas. La actividad de la quitinasa aumenta cuando se añaden al suelo enmiendas que contienen quitina y las bacterias quitinolíticas tienen capacidad de destruir la cubierta de los huevos de los nemátodos formadores de nódulos (28).

3.2.5 BIOFUMIGACIÓN Y CONTROL DE HONGOS

Se ha demostrado que abonos verdes de trigo, maíz, avena, guisante y pastos de Sudán utilizados en biofumigación controlan el hongo *Rhizoctonia solani* en judías (29).

El abono verde de *Brassica* se ha considerado supresor de organismos productores de plagas y enfermedades cuando se incorpora al suelo. Este efecto se atribuye por lo general a compuestos biocidas como los glucosinolatos, que por hidrólisis dan lugar a sustancias como isotiocianatos, que se han considerado como los productos más tóxicos (6).

En 1,998 se investigó el efecto de la biofumigación con *Brassicas* sobre el crecimiento de 5 patógenos en los cereales:

Gaeumannomyces graminis var. *tritici*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium graminearum*, *Bipolaris sorokiniana*, *Pythium irregulare*, de ellos, *Gaeumannomyces* es la más sensible a los tratamientos, seguido por *Rhizoctonia* y *Fusarium*, siendo *Bipolaris* y *Pythium* los menos sensibles, demostrando así el efecto en el control de hongos de los cereales (23).

3.2.6 BIOFUMIGACIÓN Y CONTROL DE INSECTOS

El término biofumigación se emplea al sustituir el uso del Metam sodio para el control del gorgojo de franja blanca *Graphognathus* sp. de la papa en Australia, pues por ser un producto de amplio espectro de actividad no sólo sobre organismos causantes de la enfermedad sino que también sobre muchos organismos benéficos.- El componente activo del metam sodio es el metil isotiocianato (ITC's) un compuesto volátil que se produce sintéticamente por la industria química, sin embargo existen otras fuentes naturales, no sólo del metil isotiocianato, sino de

otras formas de isotiocianatos. Estas fuentes de ITC's se encuentran principalmente en diferentes especies y variedades de *Brassicas*, entre ellas la col, coliflor y nabo (28).

Estudios realizados han demostrado que los ITC's producidos por las *Brassicas* tienen efecto repelente sobre el gusano alambre, aumentando su eficacia cuando estos insectos están en fases tempranas de crecimiento, puesto que tienen menor tamaño y son más susceptibles a los tóxicos (28).

La biofumigación con concentraciones altas de *Brassica juncea* puede controlar larvas de diferentes especies de insectos como por ejemplo gallina ciega, gusanos nocheros entre otros, incorporando una biomasa de 4 y 8% de suelo (14).

3.2.7 BIOFUMIGACIÓN Y CONTROL DE FLORA ARVENSE

Se ha estudiado el efecto de residuos orgánicos no compostados, con una relación C:N = 30:1, que se modifica al añadirle gallinaza, en algodón, encontrando que la utilización de estos residuos con cubiertas de paja de trigo reduce la flora arvense, no habiendo diferencia entre los tratamientos químicos o no químicos; señalando que los residuos con celulosa tienen gran valor potencial para el manejo del suelo en agricultura (13).

Se ha estudiado el efecto supresor de brasicas *Brassica hirta* en el control de la flora arvense en cultivos de guisante, encontrando que las *Brassicas* añadidas al suelo a las dosis de 20 gr por 400 gr de suelo seco, reduce la emergencia de *Capsella bursa-pastoris*, *Kochnia scoparia* y *Setaria viridis* en un 97, 54 y 49% respectivamente (2).

Se encontró que el alcohol metílico que se presenta en el extracto de arroz, cebada, avena, centeno y trigo tiene un efecto alelopático que inhibe la germinación de 6 especies de flora arvense: *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Arthraxon hispidus*, *Digitaria adscendens*, *Echinochloa crusgallia* y *Setaria viridis* (22).

3.2.8 BIOFUMIGACIÓN Y CONTROL DE BACTERIAS Y VIRUS

A. Bacterias

Se ha encontrado que los residuos orgánicos con un alto contenido de Nitrógeno, reduce las poblaciones de *Verticillum dahliae*, la bacteria *Streptomyces scabies*, nemátodos y flora arvense (25).

B. Virus

Se ha comprobado que *Tagetes patula* y *Tagetes erecta*, ejercen control sobre virus tales como el virus del enrollamiento (PLRV), el virus del mosaico de las hojas virus X (PVX), el virus S (PVS) y el virus M (PVM) en experimentos realizados en campo (21).

3.2.9 SELLOS O COBERTURAS

Se entiende por sello o cobertura a todo aquel material biodegradable que se utiliza para sellar la superficie del suelo, después de haberse incorporado la materia orgánica en la biofumigación y dejarla en el proceso de descomposición. En algunos casos se ha considerado como una solarización con materia orgánica, cuando al material biofumigante se le coloca una película plástica transparente. En suelos con alto contenido de arcilla, no es necesaria la utilización de plástico, especialmente caolinita y en los suelos poco profundos. El plástico se puede sustituir, además, añadiendo al biofumigante alguna sustancia biodegradable como es el caso del almidón que selle la superficie (5).

La función primordial de los sellos o coberturas, es evitar que los gases formados en la degradación de los materiales biofumigantes escapen del suelo, para este fin se utilizaron además del plástico, acículas de pino, rastrojos de fríjol y broza, aplicando una capa lo suficientemente densa para evitar el escape de los gases y también se utilizó como sellador el agua. Estos materiales se utilizaron debido la facilidad con que se consiguen y sin ningún costo y su utilización no fue por tener alguna característica especial.

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Determinar el efecto biofumigante de residuos de brócoli, *Brassica* sp, la mezcla de gallinaza más residuos de brócoli como materia orgánica; y el empleo de diferentes sellos (coberturas) en la producción del cultivo de la papa (*S. tuberosum* L.).

4.2 ESPECÍFICOS

- Determinar mediante la técnica de la biofumigación qué tratamiento con materia verde que en el proceso de biodegradación forma sustancias volátiles supera en producción al testigo sin biofumigación.
- Determinar el efecto que ejerce la materia orgánica producto de la descomposición de la materia verde evaluada en el contenido de los nutrientes del suelo.
- Establecer la mejor fuente de materia orgánica y el mejor sello que optimice la supresión y/o control de patógenos que reducen la producción del cultivo de papa.

5. HIPÓTESIS

- Ho. Con la utilización de la técnica de la biofumigación, la producción de todos los tratamientos con los materiales orgánicos evaluados es menor a la producción del testigo sin biofumigar.

- Ho. El contenido de nutrientes en el suelo disminuye con el uso de la biofumigación.

- Ho. La interacción de la materia orgánica y sellos tienen el mismo efecto en la supresión y/o control de patógenos del suelo.

6. METODOLOGIA

6.1 EQUIPO E INSUMOS

A continuación se presenta el equipo y los insumos que se utilizaron en la realización de la presente investigación:

- Azadones
- Machetes
- Palas
- Regaderas de mano
- Mangueras para riego
- Tubos PVC
- Cubetas plásticas
- Picadora de motor
- Balanza monoplano
- Rafia
- Estacas de bambú
- Broza
- Acículas de pino
- Agua
- Rollo de plástico transparente
- Residuos de brócoli
- Mostaza silvestre
- Rastrojos de frijol
- Bolsas de plástico de 1 lb
- Bomba de fumigar
- Urea
- Fertilizante triple 15
- Gallinaza
- Insecticida Metamidofost
- Fungicida Metalaxil
- Fungicida Mancozeb
- Fungicida PCNB
- Adherente
- Gasolina
- Aceite lubricante # 40

6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

El experimento consistió de tres tratamientos con materiales biofumigantes más un testigo sin biofumigar en el cual se aplicaron los agroquímicos recomendados para el cultivo de la papa.

6.2.1 GALLINAZA MÁS RESIDUOS DE BRÓCOLI

La gallinaza pura se compró en granjas avícolas, se pesó el producto (1.25 kg/m^2), y los residuos de brócoli se obtuvieron del rechazo de los campos de agricultores aledaños, el cual es regalado. Luego se picó el rechazo de brócoli en finos pedazos y se pesó en verde (2.50 kg/m^2), posteriormente se aplicó tanto la gallinaza como los residuos de brócoli en las unidades experimentales, se mezcló con azadón en el suelo, se regó con agua hasta llegar al punto de saturación, después se dejó durante 5 semanas cubiertas con los diferentes sellos a evaluar, los cuales evitaron que los gases producidos en la descomposición de la materia orgánica se liberen a la atmósfera. Transcurridas las 5 semanas, se eliminaron todos los sellos, se volteó el

suelo y se dio un lapso de tiempo de 8 días, para que se airee y escapen los gases que todavía estaban presentes y posteriormente se sembró la semilla de papa.

6.2.2 BRASSICA SP. (MOSTAZA SILVESTRE)

La *Brassica* que se utilizó como material biofumigante fue la mostaza silvestre, la cual se recolectó en los mismos terrenos del ICTA, después se picaron las plantas completas y se pesó en verde (2.50 kg/m²), posteriormente se aplicó en las unidades experimentales, se mezcló con azadón al suelo, se regó con agua hasta el punto de saturación, luego se dejó durante 5 semanas cubierta con los diferentes sellos a evaluar para que los gases producidos realicen el proceso de biofumigación, luego de las 5 semanas se eliminaron los sellos, se volteó el suelo para su aireación durante 8 días y posteriormente se sembraron las semillas de papa.

6.2.3 RESIDUOS DE BRÓCOLI

Los residuos de brócoli se obtuvieron del rechazo de los campos de agricultores aledaños, el cual es regalado, luego se picaron los residuos en finos pedazos y se pesaron en verde (2.50 kg/m²). Posteriormente, se aplicaron en las unidades experimentales, se mezclaron con azadón en el suelo, se regaron con agua hasta llegar al punto de saturación o capacidad de campo, luego se dejaron durante 5 semanas cubierto con los diferentes sellos a evaluar para que se diera el proceso de biofumigación, transcurridas las 5 semanas se retiraron los sellos y se procedió a un volteo del suelo biofumigado, para que se airee y escape a la atmósfera el gas que aún este presente para lo cual se dejó un lapso de 8 días y por último se procedió a la siembra de la semilla de papa.

6.2.4 TESTIGO SIN BIOFUMIGAR

Las labores que se realizaron al testigo fueron las siguientes: Se preparó con azadón el suelo de cada una de las unidades experimentales, luego previo a la siembra se aplicaron 18 gr por postura de fertilizante químico 15-15-15, se cubrió con una capa de tierra, posteriormente se sembraron las semillas de papa y se realizaron todas las labores recomendadas para el cultivo de la papa.

Cuadro 1. Tratamientos de biofumigación a evaluar en la variedad Loman de papa (*S. tuberosum*) en el Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícola ICTA Chimaltenango 2004.

Tratamientos con mezclas de materia orgánica y fertilización química	Dosis kg/m ²	Sello a utilizar en la biofumigación				
		Plástico	Agua	Broza	Rastrojo de frijol	Acículas de pino
1. Gallinaza mas residuos de brócoli	1.25 + 2.50	Plástico	Agua	Broza	Rastrojo de frijol	Acículas de pino
2. <i>Brassica</i> sp (mostaza silvestre)	2.50	Plástico	Agua	Broza	Rastrojo de frijol	Acículas de pino
3. Residuos de brócoli	2.50	Plástico	Agua	Broza	Rastrojo de frijol	Acículas de pino
4. Testigo sin biofumigar	*	**	**	**	**	**

* Se utilizó la fertilización química recomendada para el cultivo de papa.

** Se hizo como lo hace el agricultor (Recomendaciones agronómicas).

6.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Debido a que el presente experimento contempla varios factores, lo que dificulta el manejo de todas las combinaciones (factores) en una misma forma, se utilizó el diseño de bloques completos al azar, en arreglo de parcelas divididas con 3 repeticiones.

6.3.1 MODELO ESTADÍSTICO

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + A_j + \text{error (a)}_{ij} + B_k + (AB)_{jk} + \text{error (b)}_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta

μ = Efecto de la media general

R_i = Efecto de la i ta repetición, $i = 1, 2, 3$ r (repeticiones)

A_j = Efecto de la j ta parcela principal, $j = 1, 2, \dots, a$ (materias orgánicas)

Error (a) $_{ij}$ = Efectos de la interacción ente la repetición i y materias orgánicas j

B_k = Efecto del k ta sub parcela $k = 1, 2, 3, \dots, b$ (coberturas o sellos)

(AB) $_{jk}$ = Efecto de la interacción entre las materias orgánicas j y los sellos k

Error (b) $_{ijk}$ = Efecto de variables no cuantificadas por el modelo o error b

6.3.2 DIAGRAMA DEL EXPERIMENTO

A continuación se presenta un diagrama de la forma en que se distribuyeron las parcelas divididas, en donde se detalla la parcela principal, sub-parcela, repeticiones y los tratamientos.

Cuadro 2. Diagrama de parcelas divididas utilizadas en el estudio de biofumigación en la variedad Loman de papa en el ICTA Chimaltenango, 2004.

Parcela principal	Repetición I	Repetición II	Repetición III	Sub- parcela
	T. 1 + S. 1	T. 2 + S. 1	T. 3 + S. 1	
	T. 1 + S. 2	T. 2 + S. 2	T. 3 + S. 2	
	T. 1 + S. 3	T. 2 + S. 3	T. 3 + S. 3	
	T. 1 + S. 4	T. 2 + S. 4	T. 3 + S. 4	
	T. 1 + S. 5	T. 2 + S. 5	T. 3 + S. 5	
	T. 2 + S. 1	T. 3 + S. 1	T. 2 + S. 1	
	T. 2 + S. 2	T. 3 + S. 2	T. 2 + S. 2	
	T. 2 + S. 3	T. 3 + S. 3	T. 2 + S. 3	
	T. 2 + S. 4	T. 3 + S. 4	T. 2 + S. 4	
	T. 2 + S. 5	T. 3 + S. 5	T. 2 + S. 5	
	T. 3 + S. 1	T. 4 + S. 1	T. 1 + S. 1	
	T. 3 + S. 2	T. 4 + S. 2	T. 1 + S. 2	
	T. 3 + S. 3	T. 4 + S. 3	T. 1 + S. 3	
	T. 3 + S. 4	T. 4 + S. 4	T. 1 + S. 4	
	T. 3 + S. 5	T. 4 + S. 5	T. 1 + S. 5	
	T. 4 + S. 1	T. 1 + S. 1	T. 4 + S. 1	
	T. 4 + S. 2	T. 1 + S. 2	T. 4 + S. 2	
	T. 4 + S. 3	T. 1 + S. 3	T. 4 + S. 3	
	T. 4 + S. 4	T. 1 + S. 4	T. 4 + S. 4	
	T. 4 + S. 5	T. 1 + S. 5	T. 4 + S. 5	

Donde:

Tratamientos

T.1 = Gallinaza + residuos de brócoli

T.2 = *Brassica* sp (mostaza silvestre)

T.3 = Residuos de brócoli

T.4 = Testigo

Sellos

S.1 = Sello plástico

S.2 = Sello de agua

S.3 = Sello de broza

S.4 = Sello de acículas de pino

S.5 = Sello de rastrojo de frijol

6.3.3 DISTRIBUCION DE LOS TRATAMIENTOS EN EL CAMPO

A continuación se presentan en la figura 4, la distribución al azar de los tratamientos y sellos con sus respectivas repeticiones en el campo.

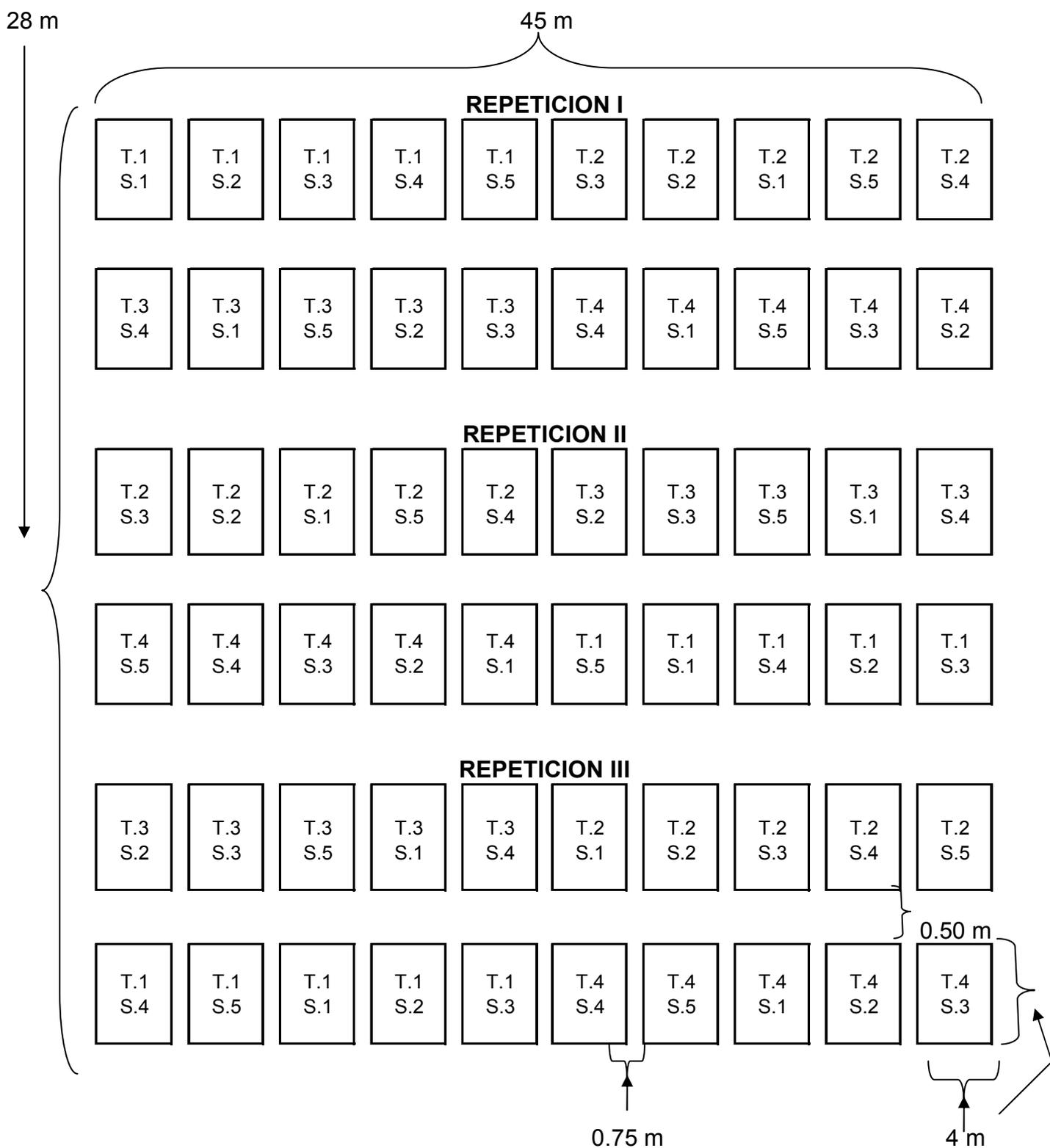


Figura 4. Distribución al azar de tratamientos y sellos en el campo

Donde:

<u>Tratamientos</u>	<u>Sellos</u>
T.1 = Gallinaza + residuos de brócoli	S.1 = Sello plástico
T.2 = <i>Brassica</i> sp (mostaza silvestre)	S.2 = Sello de agua
T.3 = Residuos de brócoli	S.3 = Sello de broza
T.4 = Testigo	S.4 = Sello de acículas de pino
	S.5 = Sello de rastrojo de frijol

6.3.4 DETALLE DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL

A continuación se presentan los datos de las unidades experimentales del ensayo del cultivo de la variedad Loman de papa.

- Unidad experimental bruta: 4.00 m X 4.00 m = 16 m²
- Unidad experimental neta: 2.00 m X 3.60 m = 7.20 m²
- # de surcos por unidad experimental bruta = 4 surcos
- # de surcos por unidad experimental neta = 2 surcos
- Distancia entre surcos = 1 m
- Distancia entre plantas = 0.30 m
- Ancho de calles = 0.50 m
- Ancho de cabeceras = 0.75 m
- # de tubérculos a sembrar por surco = 13 tubérculos
- # de tubérculos a sembrar por parcela = 52 tubérculos
- Sub. total de tubérculos para el ensayo = 3,432 tubérculos
- 10% de margen de seguridad de tubérculos = 343 tubérculos
- Total de tubérculos para el ensayo = 3,775 tubérculos

6.3.5 DIAGRAMA DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL

A continuación se muestra en la figura 4, el diagrama de la unidad experimental.

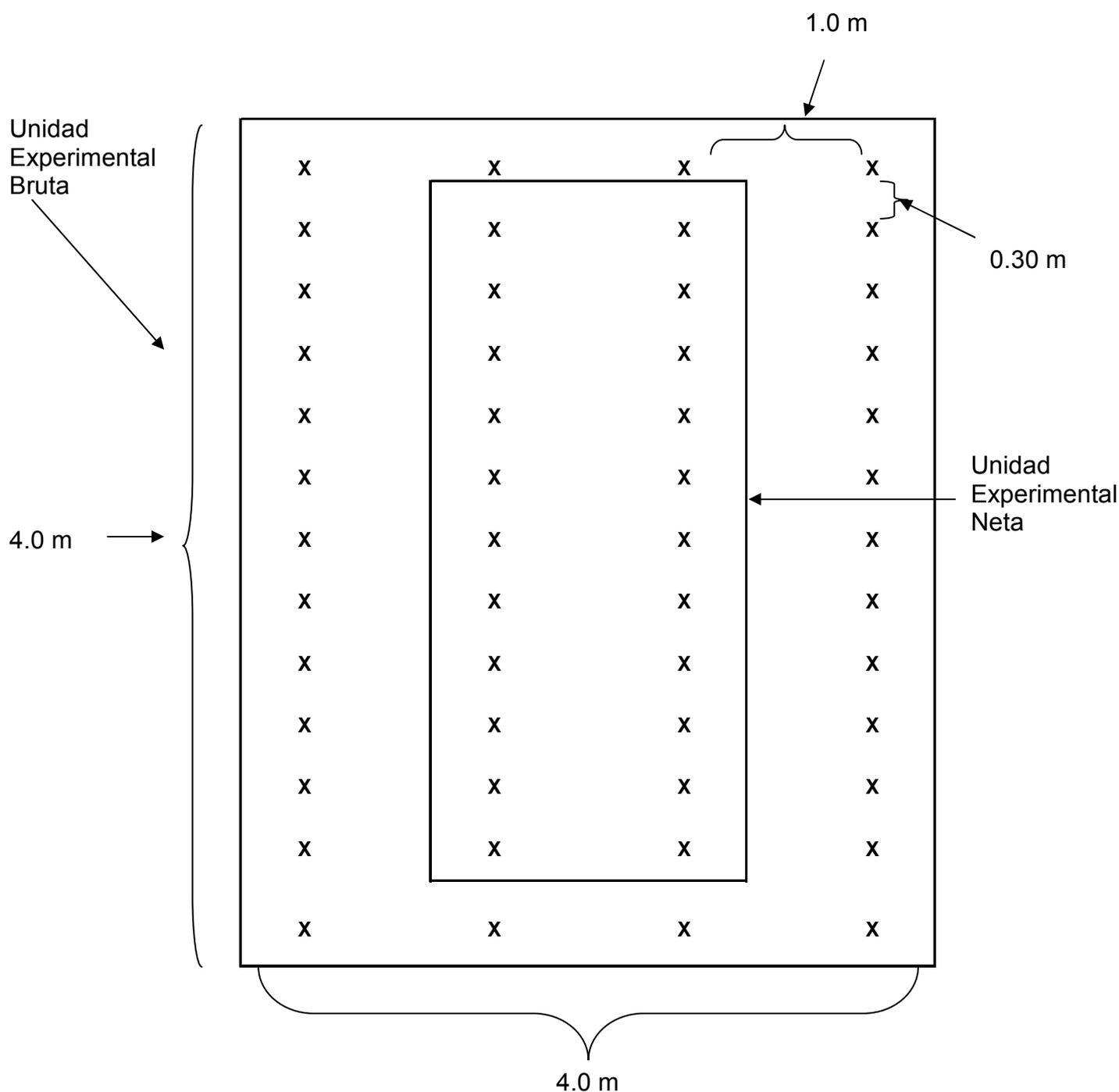


Figura 5. Diagrama de la unidad experimental utilizada en el estudio de biofumigación de la variedad Loman de papa en el ICTA Chimaltenango, 2004.

6.4 MANEJO DEL ENSAYO

El manejo del ensayo se dividió en dos fases:

- I. Fase de campo: incluye todas las labores del manejo agronómico que se realizaron durante el ciclo del cultivo en forma normal.
- II. Fase experimental: Incluye todas las actividades que se realizaron con la aplicación de la técnica de biofumigación al suelo y la instalación de los respectivos sellos o coberturas.

6.4.1 MANEJO AGRONÓMICO

A. Labores pre tratamiento

- I. Limpieza del área experimental de flora arvense, actividad que se realizó con azadón.
- II. Medición, trazado y estaqueado del área experimental.
- III. Se recolectaron 20 muestras de suelo para análisis químico y conteo de nematodos.
- IV Se picó y niveló el área experimental.
- V. Por medio de un sorteo al azar se destinaron los tratamientos y sellos en las parcelas del área experimental.

B. Siembra

Se trazaron las líneas de siembra con pita a lo largo de la unidad experimental a una distancia de 1.0 m entre surcos y los tubérculos se sembraron a 0.30 m entre plantas. En las parcelas del testigo se aplicaron 18 gr por postura de fertilizante 15-15-15 previo a la siembra del tubérculo.

C. Riego

Se procedió a instalar tubería de PVC y manguera de de $\frac{3}{4}$ " para el riego, el cual se aplicó cada dos días.

D. Control de flora arvense

La eliminación de la flora arvense después de la biofumigación se realizó en forma manual, para lo cual se utilizó azadón y rastrillo.

E. Control Fitosanitario

Para prevenir el ataque la enfermedad del follaje Tizón tardío (*P. infestans*) se utilizó el fungicida Mancozeb, alternándolo con Metalaxil. Además se le aplicó el insecticida Metamidofost y su respectivo adherente en las siguientes cantidades:

- 1½ medida Bayer de Mancozeb por bomba de 4 galones.
- 1½ medida Bayer de Metalaxil por bomba de 4 galones.
- 1 medida Bayer de Metamidofost por bomba de 4 galones.
- 1 medida Bayer de adherente por bomba de 4 galones.

La aplicación de estos productos se realizó dos veces por semana.

F. Fertilización

Las unidades experimentales del testigo, fueron las únicas a las que se le aplicó fertilizante químico, el cual fue urea a razón de 8 gr por planta previo a realizarle el aporque a la plantación.

G. Eliminación del follaje

Esta actividad se llevó a cabo a los 95 días después de la siembra, justo cuando el follaje se tornó de color amarillo, para lo cual se utilizó un machete, cortando el follaje al ras del suelo, luego se le aplicó un insecticida en polvo a los tallos recién cortados para evitar el ataque de la polilla o palomilla de la papa (*S. solanivora*), luego se esperaron 15 días, lapso de tiempo en que los tubérculos maduraron y se procedió a sacar la cosecha.

H. Cosecha

Para la obtención de la cosecha se utilizó un azadón, se dio un azadonazo profundo a un costado del camellón donde estaban los tubérculos de papa, luego se terminó de escarbar con la mano para no lastimar los tubérculos, se sacaron y clasificaron mediante de los tubérculos, luego se empacaron en costales de plástico especiales para este producto.

6.4.2 MANEJO EXPERIMENTAL

La descripción del manejo experimental se especifica y detalla en el inciso 6.2.

6.4.3 VARIABLES DE RESPUESTA

1. Flora arvense
2. Nemátodos
3. Contenido de nutrientes en el suelo
4. Producción

6.5 TOMA DE DATOS EN EL CAMPO

Los datos de campo se registraron antes y al final del tratamiento de biofumigación, así como también cuando finalizó el ciclo del cultivo para poder obtener la información que permitió evaluar las variables de respuesta planteadas.

6.5.1 PARÁMETROS CUALITATIVOS Y CUANTITATIVOS DE LA PRODUCCIÓN DE PAPA

Cuando se levantó la cosecha se tomaron registros del peso de los tubérculos sanos, defectuosos, y de rechazo. Los tubérculos defectuosos son los deformes a los que también se les llama muñeco y el rechazo lo constituyen los tubérculos que presentan alguna enfermedad y los que están demasiado pequeños. En los análisis efectuados en la presente investigación, sólo se tomaron los datos de los tubérculos sanos, considerándose como rechazo a los tubérculos defectuosos, los que presentaron un tamaño muy pequeño y los que presentaron alguna enfermedad.

El procedimiento para poder clasificar la producción de papa de primera y papa de segunda se hizo de la siguiente manera:

Se inicio dividiendo a los tubérculos cosechados en grandes (> de 10 cm de diámetro) medianos (< de 10 cm de diámetro) muy pequeños, deformes y enfermos de cada unidad experimental, constituyendo estos tres últimos el rechazo.

Se tomaron los tubérculos grandes y medianos, se les midió el ancho y largo para determinar su clasificación, luego cuando ya se obtuvo esta clasificación se procedió a pesar la papa que resulto de primera calidad, así como a la de segunda.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 FLORA ARVENSE

De los tratamientos seleccionados después de la biofumigación, el que presentó menor cantidad de flora arvense fue donde se utilizó gallinaza más residuos de brócoli y película plástica como sello con 30 unidades/m², le sigue el tratamiento de gallinaza más residuos de brócoli y rastrojos de fríjol como sello, con 96 unidades/m². El tratamiento que obtuvo el mayor número de flora arvense fue donde se utilizó *Brassica* sp. (Mostaza silvestre) más sello de agua con 378 unidades/m², debido a que el suelo donde se realizó el experimento tiene una textura franco arenosa la cual tiende a secarse con facilidad, abriendo los poros del suelo y dejando escapar los gases de la biofumigación en cambio en suelos con alto contenido de arcilla, especialmente caolinita, y en los suelos poco profundos el sello de agua resulta ser más eficiente (10). Ver figura 6.

La presencia de esta flora arvense no indica que sean resistentes al proceso de la biofumigación, pues debido a que el experimento se realizó a campo abierto, luego de retirar las coberturas o sellos las semillas de la flora arvense que se presentaron, pudieron ser traídas por aves, o bien pudieron ser arrastradas por el viento, procedentes de las áreas circunvecinas y estas se propagaron más en las parcelas donde encontraron mejores condiciones para su desarrollo, es decir donde los gases producidos por la biofumigación escaparon más rápidamente a la atmósfera.

Las especies de flora arvense determinadas en los tratamientos seleccionados fueron 11 como se observa en el cuadro 3.

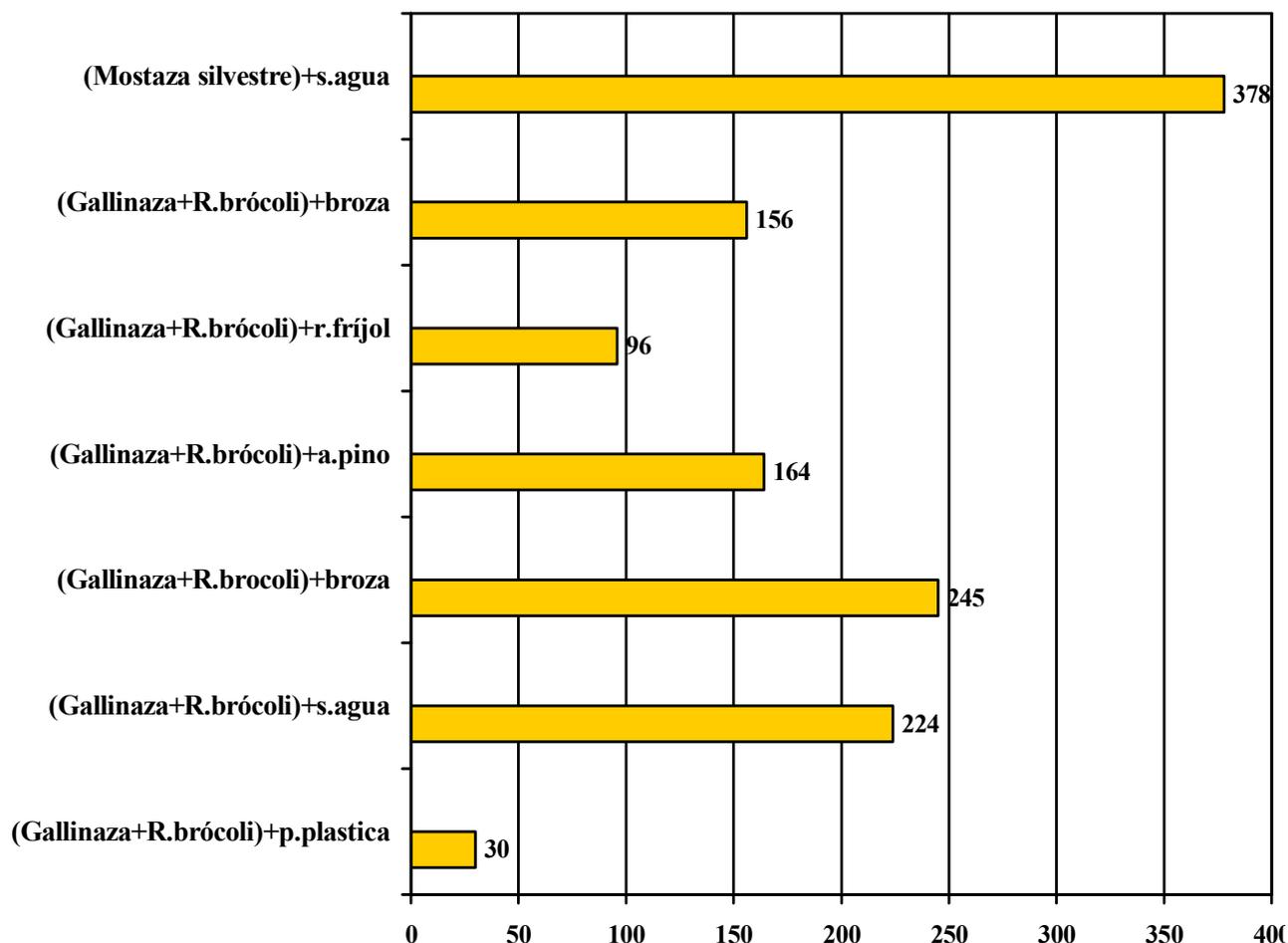


Figura 6. Especies de flora arvense cuantificadas en 7 tratamientos seleccionados en la variedad loman de papa después de la biofumigación en ICTA Chimaltenango, 2004.

Cuadro 3. Especies de flora arvense determinadas después de la biofumigación en la variedad Loman de papa. Chimaltenango, 2004.

No. de flora arvense	Nombre científico	Nombre común
1	<i>Brassica campestris</i>	Mostaza
2	<i>Portulaca oleracea</i>	Verdolaga
3	<i>Physalis angulata</i>	Miltomate
4	<i>Trifolium repens</i>	Trébol
5	<i>Zebrina péndula</i>	Hierba de pollo
6	<i>Amaranthus viridis</i>	Bledo
7	<i>Galinsoga parviflora</i>	Mácare
8	<i>Leptochoa sp.</i>	Pajilla
9	<i>Lepidium virginicum</i>	Jilipliegue
10	<i>Drymaria cordata</i>	Llovizna
11	<i>Syperus rotundus</i>	Coyolillo

7.2 NEMÁTODOS

De la muestra tomada de los 100 cc de suelo antes del tratamiento en 7 unidades experimentales elegidas al azar, se reportaron 3 géneros de nemátodos no parasíticos, siendo estos (*Rhabditis* sp, *Panagrolaimus* sp y *Dorylaimus* sp) y seis géneros parasíticos, siendo estos (*Aphelenchus* sp, *Aphelenchoides* sp, *Meloidogyne* sp, *Tylenchus* sp, *Tylenchorhynchus* sp y *Pratylenchus* sp), en total fueron determinados 1275 nemátodos/100 cc de suelo. figura 7.

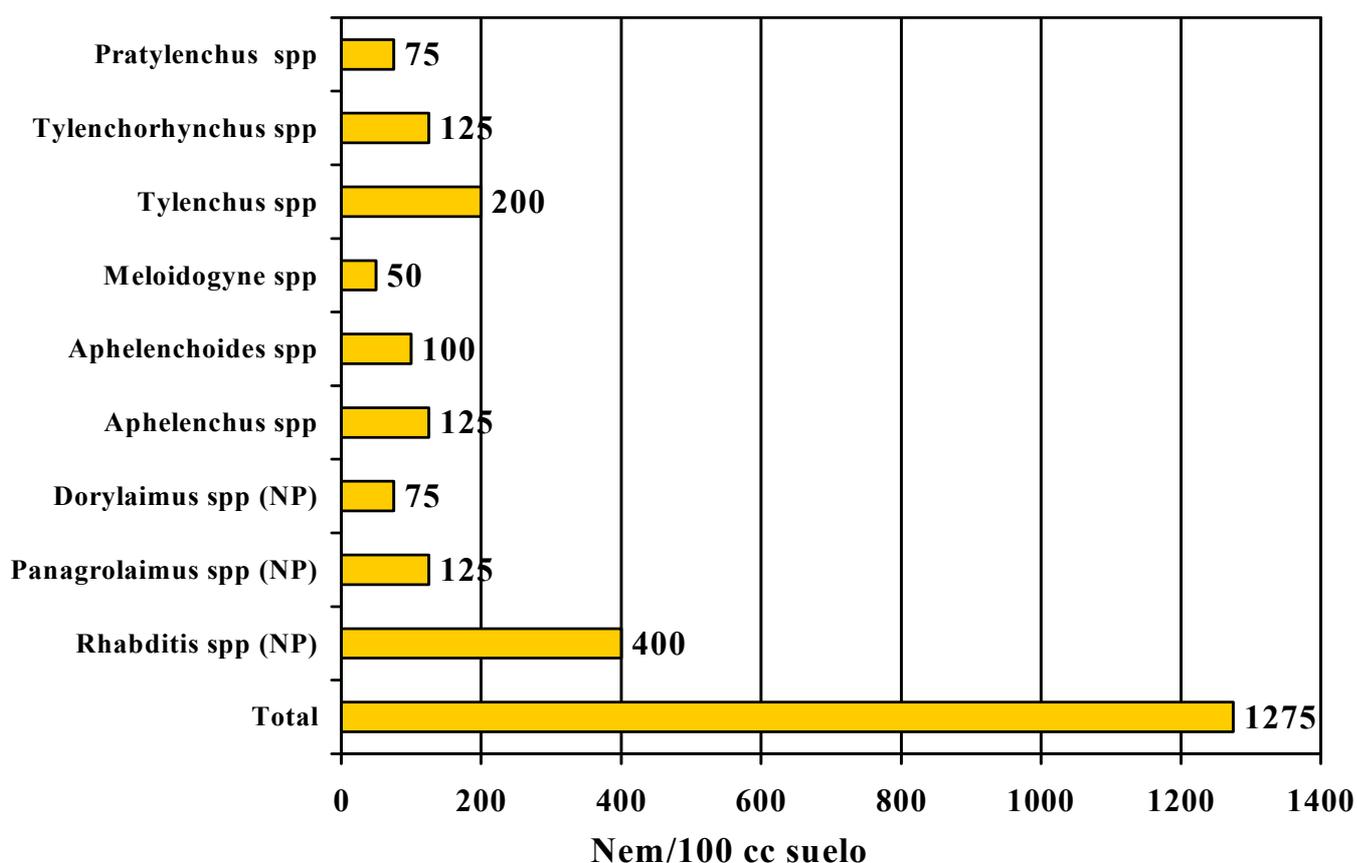


Figura 7. Nemátodos determinados antes de la biofumigación en la variedad Loman de papa en ICTA Chimaltenango, 2004.

En los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio de una muestra de 100 cc de suelo después de las 5 semanas que duro el tratamiento de biofumigación en los 7 tratamientos elegidos, se observó que el tratamiento con menor cantidad de nemátodos fue donde se aplicó 2.50 kg/m² de residuos de brócoli con sello de broza, registrando 450 nemátodos/100 cc de suelo, este tratamiento provoco que la población de los géneros *Rhabditis* y *Tylenchorhynchus* disminuyeran a cero demostrando que estos dos géneros son altamente susceptibles a la acción de los isotiocianatos. El genero *panagrolaimus*, el cual es un

nemátodo no parasítico resulto ser inmune a la acción de la biofumigación pues se incremento su población en un 80%. En los géneros de *Dorylaimus*, *Aphelenchus*, *Aphelenchoides*, *Tylenchus*, *Pratylenchus*, y *Meloidogyne* las cantidades de nemátodos disminuyeron en un 67%, 20%, 25%, 13%, 33% y 50% respectivamente, estableciéndose que la biofumigación cumple con la supresión y/o control de la población de nemátodos. Es importante mencionar que también aparecen 2 géneros que no se presentaron en el conteo pre- biofumigación los cuales son *Aerolaimus* y *Tetylenchus*.

En el tratamiento donde se aplico 1.25 kg/m² de gallinaza más 2.50 kg/m² de residuos de brócoli con sello de película plástica, la población de nemátodos de los géneros *Rhabditis*, *Aphelenchus*, *Aphelenchoides*, *Thylenchus*, *Pratylenchus*, *Meloidogyne* y *Tylenchorynchus* disminuyeron en un 25%, 20%, 50%, 37.5%, 100%, 50% y 100% respectivamente, lo que indica que el amoníaco y los isotiocianatos liberados en el proceso de biodegradación fueron contenidos con eficiencia por el sello de la película plástica el suficiente tiempo para poder mermar la población de nemátodos de los géneros ya mencionados y que por consiguiente son susceptibles al efecto de la biofumigación. En el caso de los géneros *Panagrolaimus* y *Dorylaimus* la población de nemátodos se incremento en un 80% y en 33% respectivamente, además apareció un nuevo género el cual es *Criconemoides* con 50 unidades en 100 cc de suelo. En total se registraron 700 nemátodos/100 cc de suelo.

El tratamiento que mayor cantidad de nemátodos presentó, fue donde se utilizó 1.25 kg/m² de gallinaza más 2.50 kg/m² de residuos de brócoli con sello de agua registrando una cantidad de 2,725 nemátodos/100 cc de suelo, el genero con la más alta población fue *Panagrolaimus* con 725 nemátodos en 100 cc de suelo y los géneros con la más baja población fueron *Pratylenchus* y *Meloidogyne* con 25 nemátodos cada uno en 100 cc de suelo. Ver figura

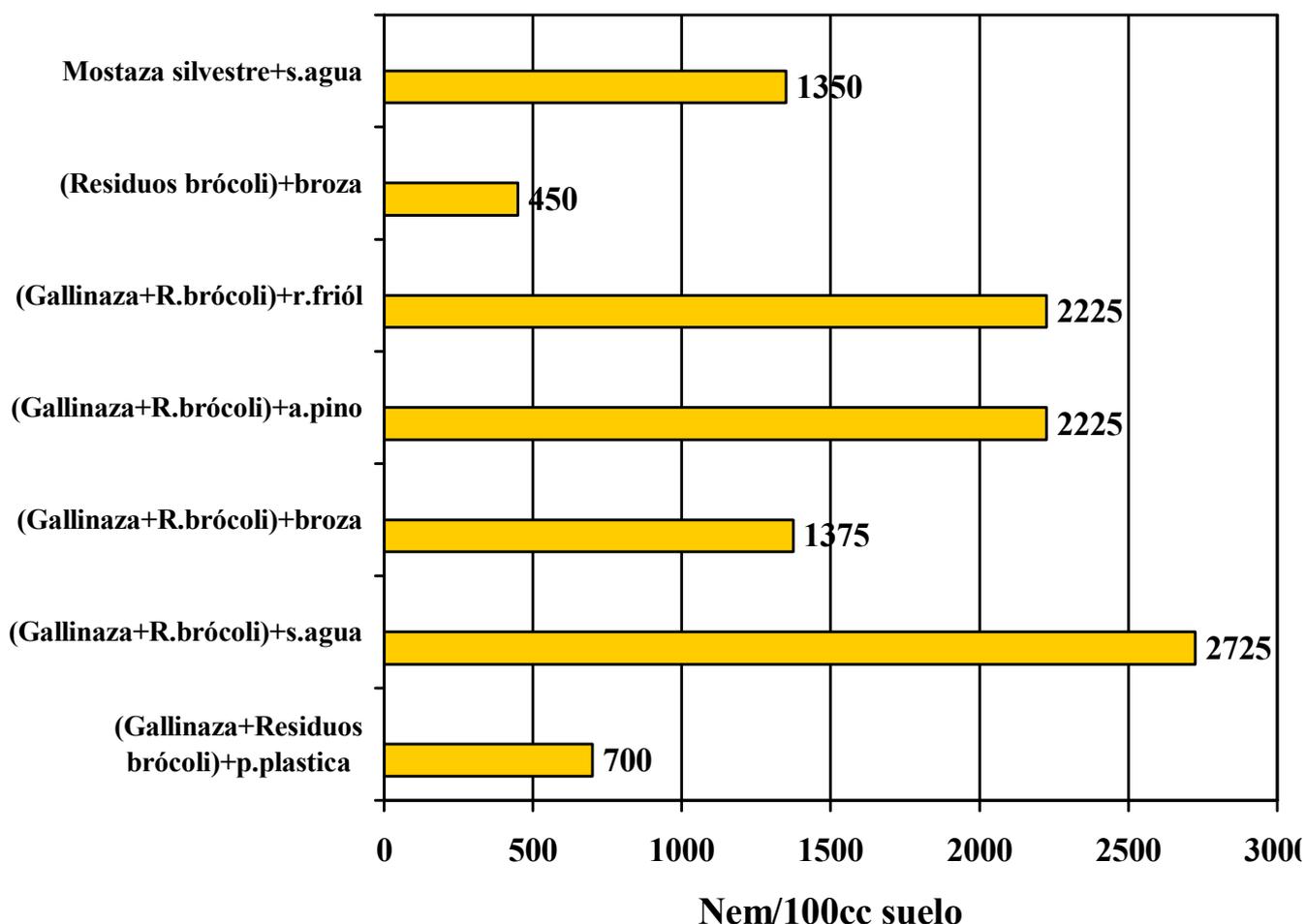


Figura 8. Nemátodos cuantificados en 7 tratamientos después de la biofumigación en la variedad Loman de papa en ICTA Chimaltenango, 2004.

En los cuadros 4 y 5, se presentan los nemátodos determinados y cuantificados después de la biofumigación de los 7 tratamientos seleccionados en la variedad Loman de papa. Se observó que en total se determinaron 12 géneros de los cuales 4 son no parasíticos (*Rhabditis*, *Panagrolaimus*, *Dorylaimus* y *Aerolaimus*) y 8 son parasíticos (*Aphelenchus*, *Aphelenchoides*, *Tylenchus*, *Tetylenchus*, *Pratylenchus*, *Xiphinema*, *Melodogyne* y *Criconemoides*).

Como se puede constatar, se dio un incremento en la cantidad de nemátodos, así como en la variabilidad de géneros en el suelo. Este aumento obedece a que los nemátodos son atraídos por las sustancias liberadas en la rizosfera que estimulan la incubación de huevecillos (5), además debido a que los nemátodos se distribuyen con gran facilidad a través de todo lo que se mueve y pueda llevar partículas de suelo tal como el equipo agrícola, la irrigación, patas de animales, aves, zapatos etc. distribuyen a los nemátodos en áreas locales (1).

El aumento en el número de nemátodos se hace más evidente en los géneros de nemátodos no parasíticos, los cuales van desde los 825 hasta los 3,600 nemátodos por 100 cc de suelo, lo cual resulta de alto beneficio para los suelos, pues estos nemátodos no parasíticos son fundamentales en la descomposición de los materiales orgánicos evaluados, son depredadores de los nemátodos parasíticos y estimulan una microflora abundante y beneficiosa para las plantas (4).

En los análisis efectuados después de la biofumigación el género *Tylenchorhynchus* presentó una población de 0, lo cual es indicativo que este puede ser un género altamente susceptible a los gases producidos en la biofumigación a las altas temperaturas, o bien pudieron servir de alimento a los géneros no parasíticos.

Cuadro 4. Nemátodos determinados en 7 tratamientos seleccionados después de la biofumigación en la variedad Loman de papa. Chimaltenango, 2004.

No.	Nombre científico del género
1	<i>Rhabditis</i> spp. (NP)
2	<i>Panagrolaimus</i> spp. (NP)
3	<i>Dorylaimus</i> spp. (NP)
4	<i>Aphelenchus</i> spp. (P)
5	<i>Aphelenchoides</i> spp. (P)
6	<i>Tylenchus</i> spp. (P)
7	<i>Tetylenchus</i> spp. (P)
8	<i>Pratylenchus</i> spp. (P)
9	<i>Xiphinema</i> spp. (P)
10	<i>Meloidogyne</i> spp. (P)
11	<i>Criconemoides</i> spp. (P)
12	<i>Aerolaimus</i> spp. (NP)

Fuente: Laboratorio Agro Expertos, Guatemala.

NP = No parasíticos, P = parasíticos

Cuadro 5. Nematodos determinados y cuantificados después de la biofumigación en la variedad Loman de papa. Chimaltenango, 2004.

Género Trat.	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	Total
T1	150	225	100	-	25	50	75	-	-	-	25	-	50	700
T2	425	725	150	75	50	450	350	450	-	25	25	-	-	2725
T3	400	500	125	-	25	50	150	100	-	-	25	-	-	1375
T4	475	825	150	125	25	100	175	200	-	100	-	-	50	2225
T5	700	1000	75	25	50	75	100	125	-	-	75	-	-	2225
T6	-	225	50	25	25	25	25	25	-	25	25	-	-	450
T7	500	225	175	-	100	225	25	-	50	25	25	-	-	1350

G1=*Rhabditis*, G2=*Panagrolaimus*, G3=*Dorylaimus*, G4=*Aerolaimus*, G5=*Aphelenchus*, G6=*Aphelenchoides*, G7=*Tylenchus*, G8=*Tetylenchus*, G9=*Xiphinema*, G10=*Pratylenchus*, G11=*Meloidogyne*, G12=*Tylenchorhynchus*, G13=*Criconemoides*.

T1= (gallin.+R.brócoli)+plástica, T2= (gallin.+R.brócoli)+s.agua, T3= (gallin.+R.brócoli)+broza, T4= (gallin.+R.brócoli)+a.pino, T5= (gallin.+R. brócoli)+r.frijol, T6= (residuos de brócoli)+broza, T7= (Mostaza silvestre)+s.agua.

7.3 NUTRIENTES DEL SUELO

En el cuadro 8 se presentan los análisis químicos de suelos de los 7 tratamientos evaluados al azar antes y después de la biofumigación en la variedad Loman de papa.

Cuadro 6. Análisis químico de suelo de 7 tratamientos antes y después de la biofumigación en papa. Chimaltenango, 2004.

Tratamiento		Mg/Kg						Cmol/Kg			% MO
		pH	P	Cu	Fe	Zn	Mn	Ca	K	Mg	
Pre Biofumigación		6.04	30.50	1.86	3.97	0.58	2.89	2.77	0.38	0.13	4.03
Post biof.	Gallinaza+R. Brocoli +Película plástica	5.42	39.1	1.96	16.29	1.69	2.95	3.74	0.71	0.51	2.96
	Gallinaza+R. Brocoli + Sello agua	5.35	42.9	2.23	21.30	1.44	3.17	3.72	0.72	0.44	2.96
	Gallinaza+R. Brocoli +Broza	5.29	35.4	1.63	13.93	1.69	3.69	5.11	0.82	0.69	4.84
	Gallinaza+R. Brocoli + Acículas de pino	5.09	33.3	1.84	15.84	1.11	2.62	4.03	0.78	0.47	3.36
	Testigo sin biofumigar + Rastrojo frijol	5.02	37.1	1.94	16.43	0.92	2.47	3.37	0.76	0.38	2.82
	Residuos brócoli + Broza	4.73	28.3	1.82	16.96	0.59	2.23	3.40	0.60	0.39	3.36
	<i>Brassica</i> sp (mostaza) + Sello agua	4.82	30.9	2.07	16.40	0.73	2.33	5.40	0.91	0.39	2.82

Fuente: Laboratorio de suelo, agua y planta, ICTA.

Se puede observar que el pH del suelo antes de la biofumigación se presentó ligeramente ácido pues tiene un valor de 6.04. Los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio después de la biofumigación indican que el grado de acidez se fue incrementando, pues presentó valores que van de 5.42 hasta 4.73, esto es debido a que la materia orgánica utilizada como material biofumigante, y algunos materiales utilizados como sellos, al descomponerse se convierten en ácidos orgánicos, dióxido de carbono y agua, formando finalmente ácido carbónico, el ácido carbónico reacciona a su vez con los carbonatos Ca y Mg en el suelo para formar bicarbonatos solubles que se lixivian, haciendo el suelo más ácido. Otra situación que provoca que los suelos se acidifiquen es por la cobertura plástica que no permite que exista oxigenación en el suelo, pero esto después de eliminado el plástico tiende a volver a su estado inicial.

El elemento fósforo presentó un incremento en los valores de la mayoría de tratamientos pues se observan valores que van desde 33.3 mg/kg hasta 42.9 mg/kg a excepción del tratamiento de residuos de brócoli con sello de broza cuyo valor fue de 28.3 mg/kg, esta disminución en la cantidad de fósforo se debió a que el pH del suelo en este tratamiento presentó un valor de 4.73 mg/kg lo que significa que suelos ácidos se facilita la descomposición de los minerales arcillosos y con ello se libera aluminio y hierro que ejercen una adsorción de la molécula lo cual hace que el fósforo no sea disponible, mientras que en pH neutros hay ausencia casi de arcillas por lo que el fósforo no es adsorbido por ellos (1).

El tratamiento de *brassica* sp (mostaza silvestre) más sello de agua presentó un valor de 30.9 mg/kg que es similar al presentado en el análisis antes de la biofumigación y, un valor de pH similar al del tratamiento de residuos de brócoli más sello de broza, lo cual indica que el material utilizado como materia orgánica que en ambos casos fue una *brassica* no ejercen un efecto benéfico en el contenido de fósforo, cuando se utilizan solos en comparación con los tratamientos donde si se dio un incremento de este elemento, pues la *brassica* utilizada como materia orgánica se mezcló con gallinaza reportando como mejor resultado el tratamiento de gallinaza, más residuos de brócoli con sello de broza cuyo valor fue de 42.9 mg/kg de fósforo.

El elemento cobre se encuentra en ciertos metales de sulfuro dentro del suelo, los cuales al estar presentes en el proceso de la biofumigación son sometidos a ciertos mecanismos necesarios para su liberación de la siguiente manera:

La oxidación de los iones sulfuro en los metales del suelo es llevada a cabo por la bacteria *Thiobacillus* que produce ácido sulfúrico o iones férricos, que luego reaccionan con materiales como la calcopirita con lo cual se logra solubilizar el cobre (25). La cantidad de cobre antes de la biofumigación fue de 1.86 mg/kg y los valores después de la biofumigación

van de 1.63 mg/kg a 2.23 mg/kg, con estos resultados se puede decir que los tratamientos que presentaron los más altos valores es donde se tiene como sello el agua por lo que se sugiere que no es muy eficiente como sello y se dan fugas de los gases producidos, permitiendo que la cantidad de bacterias de *Thiobacillus* no se regule con eficacia y esta pueda solubilizar más iones de cobre que en los otros tratamientos en donde la actividad de la bacteria fue limitada por la acción de la biofumigación.

En los valores del elemento hierro obtenidos de los análisis de suelos después de la biofumigación, se pudo apreciar un incremento en sus valores ya que los resultados antes de la biofumigación presentaron un valor de 3.97 mg/kg y, los valores después de la biofumigación van de 13.93 en el tratamiento de gallinaza más residuos de brócoli con sello de broza hasta 21.30 del tratamiento de gallinaza más residuos de brócoli. El hierro es un elemento que se transforma fácilmente mediante la actividad de la microflora, pues frecuentemente el elemento se encuentra en una forma no disponible para la utilización vegetal. La precipitación del hierro que se encuentra en ciertos compuestos orgánicos solubles en agua, es el principal factor que altera la disponibilidad del elemento. La biofumigación incrementa la microflora en el suelo, con lo cual la porción orgánica de la molécula suministra energía para la proliferación microbiana, mientras la mitad carbonada es decompuesta, resultando la liberación del hierro (25).

Tal como se puede apreciar el aumento de los valores del elemento hierro, es casi uniforme en la mayoría de tratamientos pues las cantidades oscilan entre 15.84 a 16.96 a excepción del tratamiento de gallinaza más residuos de brócoli con sello de agua, donde el incremento llegó hasta 21.30 mg/kg. Este incremento se puede atribuir a la presencia de la gallinaza, la que fomenta proliferación de microorganismos antes de que inicie su proceso de descomposición combinada con el sello de agua, el cual resulta como ya se mencionó no muy eficaz como sello permitiendo el escape de gases y por consiguiente la proliferación microbiana.

El elemento zinc presenta incrementos en sus cantidades, pues reporta 0.58 mg/kg previo al tratamiento de biofumigación y las cantidades después de la biofumigación van desde 0.59 mg/kg hasta 1.69 mg/kg. Dicho incremento obedece a que la microflora originada en la biofumigación aumenta la solubilidad del zinc de varias maneras, entre ellas se menciona la siguiente: los ácidos orgánicos producidos durante la biofumigación pueden hacer soluble al catión en silicatos de zinc; luego el zinc soluble es liberado conforme el pH desciende y los ácidos orgánicos son producidos por los microorganismos. Otra forma de liberación del zinc se da por la descomposición de los residuos vegetales que origina una liberación del catión soluble, este mecanismo está asociado con la producción de ácidos orgánicos (25) por esta razón los valores posteriores al tratamiento presentan un incremento del elemento disponible,

siendo mas evidente dicho incremento en los tratamientos de gallinaza más residuos de brócoli con sello de película plástica y sello de broza los que presentan los mismos valores (1.69 mg/kg).

El elemento Manganese (Mn^{2+}) antes del tratamiento de biofumigación presentó un valor de 2.89 mg/kg y en sus valores después de la biofumigación, 3 tratamientos presentaron un incremento de valores siendo estos donde se utilizó gallinaza más residuos de brócoli como material biofumigante y como sello los materiales de broza, agua y película plástica con valores de 3.69, 3.17 y 2.95 mg/kg respectivamente, este incremento se originó debido a que el elemento manganese se encuentra en el suelo en forma tetravalente y en forma del ion manganese divalente (Mn^{2+}), siendo este último el que es aprovechado por los vegetales. El ion divalente puede ser restituido mediante la producción de ácidos o por reducción bacteriana, por lo tanto una disminución moderada de pH, del potencial de oxido-reducción o la eliminación del O_2 como resultado del metabolismo microbiano, aumentara el nivel de manganese intercambiable en el suelo, pero cuando el pH se torna demasiado ácido, la actividad microbiana anaeróbica disminuye pues el nivel de oxígeno aumenta lo cual provoca que el nivel de Mn disminuya, tal como sucedió en los tratamientos de gallinaza más residuos de brócoli con sello de acículas de pino cuyo valor fue de 2.62 mg/kg, el testigo con sello de rastrojos de frijol cuyo valor fue de 2,47 mg/kg, residuos de brócoli con sello de broza y mostaza silvestre con sello de agua, cuyos valores fueron de 2.23 mg/kg y 2.33 mg/kg respectivamente (25).

En el elemento calcio se observó un valor antes de las biofumigación de 2.77 Cmol/kg y, en los resultados obtenidos después del tratamiento se observó un incremento de valores en todos los tratamientos, valores que van de 3.37 Cmol/kg el cual corresponde al testigo con sello de rastrojos de frijol a 5.40 Cmol/kg que corresponde al tratamiento de *brassica* sp (mostaza silvestre) con sello de agua. Este incremento es el resultado de la liberación del calcio en el suelo que se da por la reacción del ácido carbónico originado en las reacciones producidas durante el proceso de biofumigación. También es importante mencionar que las *brassicas* utilizadas como material biofumigante contienen en sus tejidos +/- 47.68 Cmol/kg de calcio, el que al descomponerse los tejidos vegetales es liberado en el suelo y parte de este calcio se lixivia en el suelo y otra parte es fijado y adsorbido por los coloides del suelo (13).

En el elemento potasio los resultados de los análisis antes de la biofumigación presentaron un valor de 0.38 Cmol/kg y los valores obtenidos después del proceso de la biofumigación, presentaron incrementos que van de 0.60 Cmol/kg en el tratamiento de residuos de brócoli más sello de broza a 0.91 Cmol/kg del tratamiento de *brassica* sp (mostaza silvestre) más sello de agua. En el suelo una pequeña parte de la reserva del potasio soluble, mientras

que la mayor parte esta combinada en la estructura de varios minerales, donde no es intercambiable; la microflora que es generada y estimulada por la biofumigación tiene gran influencia sobre el nivel de potasio aprovechable ya que el catión es solubilizado mediante la liberación de los ácidos orgánicos o inorgánicos producidos que reaccionan con los minerales que contienen potasio haciendo que en sus valores se de un incremento (25).

En el elemento magnesio el valor antes de la biofumigación fue de 0.13 Cmol/kg y los análisis efectuados después de la biofumigación presentaron incrementos en los valores de todos los tratamientos, en los cuales el que tuvo el incremento más bajo fue el tratamiento del testigo con sello de rastrojos de frijol, con un valor de 0.38 Cmol/kg y el tratamiento que alcanzó el mayor incremento fue donde se utilizo gallinaza más residuos de brócoli con sello de broza con un valor de 0.69 Cmol/kg. Este incremento de valores es debido a que el elemento magnesio se encuentra en el suelo en forma cationica divalente, casi en las mismas condiciones que el calcio o sea que pasa por los mismos procesos y reacciones para su liberación y disponibilidad.

La materia orgánica presenta un porcentaje previo a la biofumigación de 4.03% y un porcentaje posterior a la biofumigación que va desde 2.82% hasta 4.84%, siendo este último porcentaje el único que es mayor al porcentaje antes de la biofumigación y pertenece al tratamiento de gallinaza más residuos de brócoli, utilizando broza como sello o cobertura, por lo cual se le adjudica al asocio de la gallinaza con la broza la causante de este alto porcentaje, debido a que por tener una carga electrostática negativa retiene al ion amoniaco producto de la descomposición de la gallinaza durante el proceso de la biofumigación, aumentando de esta manera su porcentaje dentro del suelo.

7.4 PRODUCCIÓN DE LA VARIEDAD LOMAN DE PAPA

7.4.1 PRODUCCIÓN DE PRIMERA CALIDAD DE LA VARIEDAD LOMAN DE PAPA

En el Cuadro 7 se presenta el resumen del análisis de varianza para la producción de la variedad Loman de papa en tm/ha.

Cuadro 7. Análisis de varianza al 95% de significancia para la producción de la variedad Loman de papa de primera calidad en tm/ha.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	Prob. > F	
Repetición	2	26102.800	13051.400	0.1964		
Factor A (M.O)	3	414741.940	138247.313	2.0802	0.2043	NS
Error	6	398758.703	66459.784			
Factor B (Sellos)	4	372557.544	93139.386	30.5847	0.0000	Significante
A.B.	12	78948.049	6579.004	2.1604	0.0408	Significante
Error	32	97449.285	3045.290			
Total	59	1388558.322				

De acuerdo al análisis de varianza se pudo determinar que existe alta diferencia significativa al 95% de confianza en el factor B (sellos) y diferencia significativa al 95% de confianza en la interacción de la materia orgánica y los sellos, lo que significa que al menos uno de los tratamientos y al menos una de las interacciones ofrece una mejor producción que los demás, por lo cual se procedió a realizar la prueba múltiple de Duncan, la cual se presenta en el cuadro 10 y 12 respectivamente.

Cuadro 8. Prueba de Medias de Duncan al 95% de probabilidad de coberturas o sellos de la producción de la variedad Loman de papa de primera en tm/ha.

Sello o cobertura	Medias	Grupo
Película plástica	652.8	A
Broza	581.2	B
Rastrojos de fríjol	541.3	B
Sello de agua	476.8	C
Acículas de pino	427.2	D

La prueba de medias de Duncan con un 95% de confianza separo cuatro grupos estadísticamente diferentes. El primero identificado con la literal A presenta el valor de medias de producción más alto y corresponde al sello o cobertura de película plástica con un valor de 652.8 tm/ha. Con este resultado se afirma que el mejor material para

utilizarlo como cobertura o sello resulta ser la película plástica, pues brinda un mejor efecto sellador evitando que los gases producidos en la biofumigación escapen, dándose así un mejor efecto biofumigante y por ende una mejor producción. En estudios realizados por Brown (6) indica que cuando se emplea brassicas o gramíneas, al mismo tiempo que aportan microorganismos exógenos al suelo, el resultado es más eficaz cuando se utiliza una cobertura o sello de película plástica.

El último grupo se identifica con la literal D y lo conforma el sello o cobertura de acículas de pino con un valor de producción de 427.2 tm/ha que equivale a un 35% menos que la producción del grupo A, lo cual indica que su uso como cobertura no es adecuado, debido a que su estructura fue arrastrada con facilidad por el viento dejando muchos espacios descubiertos por donde se escaparon los gases producidos durante la biofumigación.

Cuadro 9. Prueba de Medias de Duncan al 95% de probabilidad de la interacción de materia orgánica y sellos de la producción de la variedad Loman de papa de primera calidad en tm/ha.

Trat. + sellos	Medias	Grupo
T1 + S1	781.4	A
T3 + S1	711.8	A B
T2 + S1	692.6	A B C
T1 + S3	661.4	B C
T3 + S3	659.1	B C
T1 + S5	628.8	B C D
T2 + S3	604.5	C D E
T3 + S5	545.7	D E F
T2 + S5	536.0	D E F G
T2 + S2	518.5	E F G H
T1 + S2	513.6	E F G H
T3 + S2	512.0	E F G H
T1 + S4	475.8	F G H I
T2 + S4	468.8	F G H I
T4 + S5	454.6	F G H I J
T3 + S4	430.2	G H I J K
T4 + S1	425.2	H I J K
T4 + S3	399.8	I J K
T4 + S2	363.3	J K
T4 + S4	333.9	K

Los resultados de la prueba de medias de Duncan en la interacción de la materia orgánica y sellos o coberturas reportaron 11 grupos estadísticamente distintos. El primero es el grupo identificado con la literal A reportando el valor más alto y está conformado por la interacción de gallinaza más residuos de brócoli con sello o cobertura de película plástica con un valor de 781.4 tm/ha, con lo cual se sustenta que las *brassicas* y la película plástica resultan ser la mejor combinación de materiales evaluada pues brinda un mejor control de los microorganismos patógenos del suelo, un mejor mecanismo de liberación y disponibilidad de los nutrientes en el suelo que son asimilados por la planta. Por ejemplo el N, P, K, Ca, Mg y Mb son esenciales en el segundo y tercer estado fisiológico del crecimiento y desarrollo de la planta de papa, que corresponden al crecimiento vegetativo y al inicio de la tuberización, ya que teniendo estos nutrientes disponibles se asegura que el 70-80% de los tubérculos salgan bien formados, con color brillante, uniformes y firmeza, las cuales son características de buena calidad (11).

Los valores más bajos en producción se presentaron en los tratamientos donde se utilizó el testigo con sellos de cobertura plástica, broza, agua y acículas de pino cuyos valores van desde 425.2 tm/ha a 333.9 tm/ha. Estos resultados en producción obedecen a la ausencia de los materiales orgánicos que se utilizaron en la biofumigación, los cuales ejercen una regulación de microorganismos del suelo, mejoran la microflora de éste y promueven las reacciones que permiten la liberación y disponibilidad de los nutrientes del suelo, factores que incrementan la producción de papa de primera calidad.

7.4.2 PRODUCCIÓN DE LA VARIEDAD LOMAN DE PAPA DE SEGUNDA CALIDAD EN TM/HA

En el cuadro 10 se presenta el análisis de varianza para la producción de la variedad Loman de papa de segunda calidad.

Cuadro 10. Análisis de varianza al 95% de significancia para la Producción de la variedad Loman de papa de segunda calidad en tm/ha.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M	F.C.	Prob. > F	
Repetición	2	24931.361	12465.680	4.5551	0.0626	NS
Factor A (M.O.)	3	49007.703	16335.901	5.9693	0.0311	Significancia
Error	6	16419.785	2736.631			
Factor B (Sellos)	4	68606.537	17151.634	26.9104	0.0000	Significancia
A.B.	12	5713.180	476.098	0.7470		
Error	32	20395.562	637.361			
Total	59	185074.127				

De acuerdo al análisis de varianza se pudo determinar que existe diferencia significativa al 95% en el factor A (materia orgánica) y diferencia altamente significativa en el factor B (sellos), lo que significa que al menos un tratamiento y un sello presenta una mejor producción que los demás, por lo cual se procedió a realizar la prueba múltiple de medias de Duncan, la cual se presenta en los cuadros 11 y 12.

Cuadro 11. Prueba de medias de Duncan al 95% de probabilidad de materia orgánica en la producción de la variedad Loman de papa de segunda calidad en tm/ha.

Tratamiento	Media	Grupo
Gallinaza + Residuos de brócoli	195.0	A
<i>Brassica sp.</i> (mostaza silvestre)	193.2	A
Residuos de brócoli	164.2	A B
Testigo	124.8	B

En la prueba de medias de Duncan al 95% de probabilidad de la materia orgánica evaluada, se manifestaron dos grupos estadísticos. El primero identificado con la literal A, lo conforman los tratamientos de gallinaza más residuos de brócoli con una media de producción de 195.0 tm/ha. El tratamiento de *brassica sp* (mostaza silvestre) presenta un valor de 193.2 tm/ha que es estadísticamente similar al valor anterior por lo cual se ubica también dentro del grupo A.

El segundo grupo se identifica con la literal B y lo conforma el testigo con una media de producción de 124.8 tm/ha. Como se puede observar la mejor producción de papa de segunda calidad se obtiene en el tratamiento de gallinaza más residuos de brócoli, debido a las propiedades biofumigantes que presenta este material orgánico.

El tratamiento con menor producción fue el testigo sin biofumigar, debido a que en este tratamiento la planta de papa en sus primeros estados fisiológicos de crecimiento solamente contó con los pocos nutrientes disponibles en el suelo, pues no se dieron las reacciones que ocurren en los procesos biofumigantes que originan la liberación, disponibilidad y aumento en los valores de los nutrientes del suelo (25).

Los valores de producción en papa de segunda se presentan relativamente bajos en comparación a los valores obtenidos en la producción de papa de primera, debido a la efectividad de los materiales orgánicos que se utilizaron como biofumigantes, haciendo que la mayor parte de la producción fuera de primera calidad.

Cuadro 12. Prueba de medias de Duncan al 95% de probabilidad de sellos o coberturas de la producción de la variedad Loman de papa de segunda calidad en tm/ha.

Cobertura	Media	Grupo
Película plástica	222.4	A
Broza	187.5	B
Rastrojos de frijol	166.0	C
Sello de agua	147.7	C
Acículas de pino	123.6	D

En la prueba de medias de Duncan al 95% de probabilidad de sellos o coberturas utilizados en la producción de la variedad Loman de papa de segunda calidad, se presentaron cuatro grupos estadísticamente diferentes. El primer grupo lo conformó el sello de película plástica y se identifica con la literal A, presentando una media de producción de 222,4 tm/ha. El segundo grupo lo conformó el sello de broza y se identifica con la literal B, con un valor de producción de 187.5 tm/ha. El tercer grupo identificado con la literal C, lo conformaron dos materiales utilizados como sellos, los cuales son: rastrojos de frijol y agua, con valores de producción de 166.0 tm/ha y 147.7 tm/ha respectivamente. El cuarto grupo que se identifica con la literal D, lo conformó las acículas de pino con un valor de 123.6 tm/ha.

Con estos resultados se afirma que el mejor material para utilizarlo como sello o cobertura resulta ser la película plástica. Bello (5) señala que el uso de la película plástica y las altas temperaturas no son necesarias para el control de patógenos del suelo en cultivos extensivos como zanahoria y papa, pues la biofumigación cumple con esta función, aunque indica que ambas técnicas pueden ser complementarias y lograr mejores resultados. En general la eficacia de los sellos o coberturas va a depender del tipo de cobertura que se utilice, pues mientras más compacto y uniforme permanezca durante el periodo de tiempo que dure el tratamiento así se evitara el escape o fugas de los gases producidos.

7.4.3 PRODUCCIÓN TOTAL DE LA VARIEDAD LOMAN DE PAPA EN TM/HA.

En el cuadro 13 se presenta el análisis de varianza de la producción total de la variedad Loman de papa.

Cuadro 13 Análisis de varianza al 95% de significancia para la producción total de papa de la variedad Loman en tm/ha.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	Prob. > F	
Repetición	2	2158.307	1079.154	0.0180		
Factor A (M.O.)	3	995911.285	331970.428	5.5449	0.0365	Significancia
Error	6	359216.134	59869.356			
Factor B (Sellos)	4	131599.646	32899.911	3.1628	0.0268	Significancia
A.B	12	200370.086	16697.507	1.6052	0.1398	NS
Error	32	332865.693	10402.053			
Total	59	2022121.151				

En el cuadro 13 se puede apreciar que existe diferencia significativa al 95% de confianza en el factor A (materia orgánica) y en el factor B (sellos o coberturas), es decir que al menos uno de los tratamientos con M. O. y uno de los sellos presenta una mayor producción en tm/ha que los demás, por lo que se procedió a realizar la prueba múltiple de medias de Duncan tanto para los tratamientos de materia orgánica como para los sellos o coberturas, lo cual se presenta en los cuadros 14 y 15 respectivamente.

Cuadro 14. Prueba de medias de Duncan al 95% de probabilidad de la producción total de materia orgánica de la variedad Loman de papa en tm/ha.

Tratamiento	Media	Grupo
Gallinaza + Residuos de brócoli	1044.0	A
<i>Brassica sp.</i> (mostaza silvestre)	935.7	B
Residuos de brócoli	925.9	B
Testigo sin biofumigar	690.8	C

Como se demuestra en el cuadro anterior los resultados de la prueba de medias de Duncan al 95% de probabilidad de la producción total de materia orgánica de la variedad Loman de papa presentó tres grupos estadísticamente distintos y ordenados en forma decreciente de valores. El primer grupo le corresponde a la literal A y lo conforma el tratamiento de gallinaza más residuos de brócoli con un producción media de 1044.0 tm/ha.

El segundo grupo lo integran los tratamientos de *brassica sp* (mostaza silvestre) y los residuos de brócoli con valores de producción media de 935.7 tm/ha y 925.9 tm/ha respectivamente, ambos tratamientos identificados con la literal B. por último se encuentra el grupo identificado con la literal C y lo conforma el testigo con una media de producción de 690.8 tm/ha.

En la producción total así como en la producción de primera y de segunda calidad, el tratamiento que presentó mejor producción fue el de gallinaza más residuos de brócoli, seguido por *brassica sp* (mostaza silvestre) y por residuos de brócoli, siendo el testigo sin biofumigar quien presentó la producción más baja, los fundamentos por los cuales se dan estos resultados son los mismos que los discutidos en la producción de papa de primera y segunda calidad, ya que resultan siendo los mismos en cuanto al orden de las categorías que ocupan los materiales orgánicos.

Cuadro 15. Prueba de medias de Duncan al 95% de probabilidad para coberturas de la producción total de la variedad Loman de papa en tm/ha.

Coberturas	Medias	Grupo
Película plástica	959.9	A
Broza	951.3	A
Rastrojo de frijol	874.8	A B
Acículas de pino	855.0	B
Sello de agua	854.3	B

El cuadro anterior presentó los resultados obtenidos de la prueba de medias de Duncan al 95% de probabilidad para coberturas de la producción total en la cual se distinguen dos grupos estadísticamente distintos. El grupo que presentó la mejor media de producción se identifica con la literal A y corresponde a la cobertura de película plástica con un valor de 959.9 tm/ha.

El sello de broza presenta un valor de 951.5 tm/ha el cual estadísticamente es similar al valor anterior por lo que se ubica también en el grupo A. El segundo grupo identificado con la literal B lo conforman los sello de acículas de pino y sello de agua con valores de 855.0 tm/ha y 854.3 tm/ha respectivamente.

Con los resultados de la producción total se confirma la superioridad en producción del sello de la película plástica, ya que en los resultados de todo el ensayo, siempre presentó los mejores resultados. La broza y los rastrojos de frijol también se ubicaron en el segundo y tercer nivel de producción en la evaluación de papa de primera y segunda calidad.

Los resultados de las acículas de pino y sello de agua, se puede decir que siguen el mismo patrón pues en la producción de papa de primera así como de segunda el sello de agua presentó valores de producción superiores a los de las acículas de pino, solo en la producción total presentaron valores estadísticamente similares, posiblemente debido a la desecación de la superficie del suelo en el ensayo del sello de agua, lo que permitió que los gases de la biofumigación se liberaran y no se pudieron llevar a cabo las reacciones benéficas de la técnica de la biofumigación, lo que se refleja en la baja producción. Las acículas de pino siempre presentaron los valores más bajos de producción debido a que resulta ser un material que por su forma y consistencia es arrastrado con facilidad por el viento, y con el sol se pone tostado y tiende a encogerse, abriendo espacios por donde se escapan los gases volátiles producidos en la biofumigación. Bello *et al.*(4) afirma que en el proceso de la biofumigación se deben retener al menos durante dos semanas los gases biofumigantes producidos en la biodegradación de la materia orgánica, ya que su efecto es biostático y no biocida (4).

8. CONCLUSIONES

1. La cantidad de papa producida con la técnica de la biofumigación en el tratamiento con gallinaza más residuos de brócoli superó a la producida con el testigo sin biofumigación en un 58%.
2. Con la técnica de la biofumigación se incrementó la cantidad de fósforo (P) en 15%, cobre (Cu) en 3.8%, hierro (Fe) en 321.4%, zinc (Zn) en 100%, manganeso (Mn) en 13.14%, calcio (Ca) en 48.4%, potasio (K) en 100% y magnesio (Mg) en 259.3% comparadas a las cantidades registradas antes de la biofumigación.
3. Los residuos de brócoli y la película plástica optimizaron la supresión y/o control de los géneros de nemátodos determinados en la presente investigación

9. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la utilización de la gallinaza más residuos de brócoli a una dosificación de 1.25 y 2.50 kg/m² respectivamente en la técnica de la biofumigación del cultivo de papa con la variedad Loman.
2. Emplear la técnica de la biofumigación para mejorar el contenido de nutrientes del suelo y evitar el uso de fertilizantes químicos en el cultivo de la variedad Loman de papa.
3. Se recomienda el uso de los residuos de brócoli como fuente de materia orgánica y película plástica para el control y/o supresión de los nematodos que afectan al cultivo de la variedad Loman de papa.

10. BIBLIOGRAFIA

1. Agrios, GN. 1988. Fitopatología. México, Limusa. 756 p.
2. Al-Kabit, K. *et al.* 1997. Weed suppression whit *Brassica* green manure crops greenpea. *Weed Science* 45:439-445.
3. American Phytopatological Society, US. 1981. Compendium of potato diseases. Minnesota, US. 125 p. Citado por: Argueta Ventura. 2001. Efecto de dos reguladores osmóticos en la conservación *in vitro* de diez clones de papa *Solanum tuberosum* L. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 78 p.
4. Bello, A. *et al.* 1997. Alternativas al bromuro de metilo en agricultura. Sevilla, España, Junta Andalucía no. 44/97. 192 p.
5. Bello, A. *et al.* 2000. Alternativas al bromuro de metilo como fumigante del suelo en España. Ed. por R. Labrada. Roma, Italia, FAO. 13 p.
6. Brown, PD. *et al.* 1997. Control of soil borne plant pests using glucosinolate-containing plants. *Advan. Agron.* 61:167-231.
7. Calderón, LF. *et al.* 1999. Evaluación de alternativas al uso de bromuro de metilo en producción de brócoli fase I y II. Guatemala, AGEXPRONT. 56 p.
8. Calderón, LF. *et al.* 2000. Evaluación del efecto biofumigante de diversas fuentes de materia orgánica en el altiplano central de Guatemala. 48 p.
9. Campos, SJ. 1989. Manual agrícola superb. 7 ed. Guatemala, Productos SUPERB. 367 p.
10. Canullo, GH. *et al.* 1992a. Changes in populations of microorganisms associated with the application of soil amendments to control *Sclerotium rolfsii* sacc. *Plant and Soil* 144:59-66.
11. Carranza, HE. *et al.* 2000. Efecto biofumigante de diversas fuentes de materia orgánica en el cultivo de brócoli. Guatemala, ICTA / IPM / CRSP. 65 p.
12. Edifram internacional, 2006. Manual de hortalizas 1 ed. Editado por edifram internacional Centroamérica. Guatemala. p. 80-86.
13. Edwards, JH. *et al.* 1994. Effect of non-composted organic waste as residues on cotton yields. *In Belt wide cotton conferences (1994, San Diego, California, US). Proceedings.* US, National Cotton Council. p. 1561-1563.
14. Elberson, LR. *et al.* 1996. Toxicity of rapeseed meal-amendment soil to wireworms, *Limonijs californicus* (Coleoptera: Elasteridae). *J. Agric. Entomol.* 13:323-330.
15. Eno, CF *et al.* 1995. The effect of anhydrous ammonio on nematodes, fungi, bacteria and nitrification in some Florida Soils. *Proc. Soil Science Society of America* 19:55-58.

16. Fernandez, C. *et al.* 2000. Approaches to measuring microbial contributions to soil suppressiveness by measuring soil enzymes. Annual meeting of ONTA (32, 2000, US). Abstracts. Auburn, Alabama, US. W-1, 20 p.
17. Flores Mendoza, RA. 2003. Uso de residuos de brócoli y gallinaza como agentes biofumigantes del suelo, para el control de nematodos en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 64 p.
18. Hernández, A. 1982. Determinación del tamaño óptimo de parcela para estudios experimentales en 2 variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 61 p.
19. Holdridge, LR. 1978. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
20. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1980. Diccionario geográfico de Guatemala. Guatemala. 4 tomos.
21. Jacobs, JJ. *et al.* 1994. Thiophene synthesis and distribution in young developing plants of *Tagetes patula* and *Tagetes erecta*. Journal of Experimental Botany 45:1459-1466.
22. Kim, K. *et al.* 1997. Weed management using a potential allelopathic crop. Korean Journal of Weed Science 17:80-93.
23. Kirkegaard, JA. *et al.* 1998. Biofumigation potential of *brassicac*: i. variation in glucosinolate profiles of diverse field-grown *brassicac*. Plant and Soil 201:72-89.
24. Landaverde, A. 1942. Las plantas oleaginosas. Ed. por Bartolomé Trucco. México, Editorial Limusa. p. 241-242.
25. Lazarovits, G. *et al.* 1997. High nitrogen containing organic amendments for the control of soilborne plant pathogens. International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions (1997, San Diego, California, LA, USA). No. 3, p.1-2.
26. Main, IH. *et al.* 1982. Organic amendments with high tannin and phenolic contents for control of *Meloidogyne arenaria* in infested soil. Nematropica 12:221-234.
27. Martin A. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. 2 ed. en ingles. John Wiley and sons, Inc.
28. Matthiesen, JN. *et al.* 1993. Biofumigation, a new concept for clean and green pest and disease control. Western Australian Potato Grower October: 14-15.
29. Papavizas, GC *et al.* 1960. *Rhizoctonia* disease of bean as affected by decomposing green plant materials and associated microfloras. Phytopathology 60:516-522.
30. Parker, N *et al.* 1988. Effect of chitinolytic. soil bacteria on root-knot nematode eggs. International Congress of Plant Pathology (15, 1988, Kyoto). Abstracts of paper. Kyoto, Japan. 157 p.

31. Simmons, CS; Tarano, JM; Pinto, JM. 1965. Clasificación de reconocimiento de suelos de la Republica de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José De Pineda Ibarra. 1000 p.