



## **CRIA ORIENTE**

### **CADENA DE TOMATE**

**Efecto de la Biofumigación para el control de marchitez bacteriana en el cultivo de tomate, Aldea Jicamapa, Ipala, Chiquimula.**

Ing. Agr. Milton Leonardo Solís Rodríguez  
P. Agr. Gerber Danilo Reyes Rodríguez



Este proyecto fue ejecutado gracias al apoyo financiero del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). El contenido de ésta publicación es responsabilidad de sus autores y de la institución a la que pertenecen. La mención de empresas o productos comerciales no implica la aprobación o preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan.

## **SIGLAS Y ACRÓNIMOS**

**AUDPC:** Área bajo la curva del progreso de la enfermedad.

**BANGUAT:** Banco de Guatemala.

**BF:** Método de biofumigación.

**BF+S:** Método de Biofumigación más solarizado.

**CRIA:** Consorcio Regional de Investigaciones Agropecuarias.

**CUNORI:** Centro Universitario de Oriente.

**DDT:** Días después de trasplante.

**ICTA:** Instituto de Ciencia y Tecnología de los alimentos.

**INIA:** Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

**LSD:** Diferencia menos Significativa.

**M.O:** Materia Orgánica.

**MAGA:** Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

**RB/C:** Relación Beneficio Costo.

**TREMA:** Tasa de Rendimiento Mínima Aceptable.

**UFC:** Unidades formadoras de colonias.

## CONTENIDO GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
1. Introducción	1
2. Marco Teórico	2
3. Objetivos	7
4. Hipótesis	7
5. Metodología	8
5.1 Localidad y época	8
5.2 Diseño experimental	8
5.3 Tratamientos	8
5.4 Tamaño de la unidad experimental	10
5.5 Modelo estadístico	10
5.6 Variables de respuesta	10
5.7 Análisis de la información	10
5.8 Manejo del experimento	11
6. Resultados	13
7. Conclusiones	21
8. Recomendaciones	22
9. Referencias bibliográficas	23
10. Anexos	24

## **Efecto de la Biofumigación para el control de marchitez bacteriana en el cultivo de tomate, Aldea Jicamapa, Ipala, Chiquimula.**

Ing. Agr. Milton Leonardo Solís Rodríguez  
Tec. Gerber Danilo Reyes Rodríguez

### RESUMEN

La presente investigación, se realizó en respuesta a las necesidades de conocimiento, métodos y tecnologías que demandan los productores de tomate de la región Oriente de Guatemala. Por la presencia generalizada de bacterias de suelo; causante de marchitez bacteriana en el cultivar de tomate Retana. Con el objetivo de generar información, el Consorcio CRIA Tomate Oriente, realizó esta investigación para conocer el efecto de la biofumigación utilizando cinco fuentes de Materia Orgánica con propiedades biofumigantes. Se utilizó el cultivar de tomate Retana como el que presenta más alta susceptibilidad a la incidencia de la enfermedad en el área de estudio- (CRIA-Oriente 2017). El proyecto se realizó bajo estructuras de cobertura en macro túnel, en la Aldea Jicamapa del municipio de Ipala localidad seleccionada por contar con informe de presencia confirmada de *R. Solanacearum*; según análisis bacteriológico practicado recientemente, el ensayo se realizó en los meses de Abril a Noviembre del 2018.

Como resultados del proyecto se puede concluir que las fuentes de Materia Orgánica utilizadas como biofumigantes tienen un efecto sobre la incidencia de marchitez bacteriana en el cultivar de tomate susceptible debido a que el grado de incidencia determinado no supero la media con respecto al máximo valor de 10, que se le atribuye al cultivar de tomate evaluado en campos con presencia comprobada de *R. solanacearum* de la finca Jicamapa. No existe diferencia sobre el rendimiento por efecto de la biofumigación utilizando cualquiera de las cinco fuentes de Materia orgánica.

### ABSTRACT

The present investigation, was carried out in response to the needs of knowledge, methods and technologies demanded by tomato producers in the Oriente region of Guatemala. Because of the widespread presence of soil bacteria; causing bacterial wilt in the tomato cultivar Retana. With the objective of generating information, the CRIA Tomato Oriente Consortium carried out this research to know the effect of biofumigation using five sources of Organic Matter with biofumigant properties. The tomato cultivar Retana was used as the one with the highest susceptibility to the incidence of the disease in the study area (CRIA-Oriente 2017). The project was carried out under cover structures in macro tunnel, in the Jicamapa Village of the municipality of Ipala, a town selected for having a confirmed presence report of *R. Solanacearum*; According to recent bacteriological analysis, the trial was conducted in the months of April to November 2018.

As project results, it can be concluded that the sources of Organizational Matter used as biofumigants have an effect on the incidence of bacterial wilt in the susceptible tomato cultivar because the degree of incidence determined does not exceed the mean with respect to the maximum value of 10, which is attributed to the tomato cultivar evaluated in fields with a proven presence of *R. solanacearum* from the Jicamapa farm. There is no difference in yield as a result of biofumigation using any of the five sources of organic matter.

## 1. INTRODUCCION

De acuerdo con el último registro BANGUAT (2014), en Guatemala la producción de tomate alcanzó para el año 2014 con 9,030 Ha de área cultivada una producción de 356,185 toneladas métricas, con una productividad de 39.44 Tm/ha. Siendo el departamento de Chiquimula el tercero con mayor producción aportando el 11% de toda la producción del país.

El cultivo de tomate es de gran importancia para la región oriente del país, es la hortaliza de mayor importancia económica para las familias productoras, con ello se logra abastecer los mercados nacionales e incluso satisfacer demanda internacional generando así muchas fuentes de empleo, ingreso, divisas, entre otros.

La bacteria *Ralstonia solanacearum* (RS) agente causal de marchitez bacteriana ha sido una de las limitantes para la continuidad de la producción de cultivo de tomate, una vez se encuentra en el suelo y afecta las plantas generalmente estas mueren disminuyendo e incluso dejando sin cosecha a los productores. La única medida conocida actualmente para combatir la enfermedad es la utilización de cultivares que cuente con tolerancia a la bacteria, culturalmente se realiza la migración al abandonar las áreas donde está presente, se desconoce en la región otros métodos que permitan el control o manejo integral de la misma.

El objetivo de la investigación consistió en generar información sobre el efecto del método de la biofumigación de suelo que permita reducir el porcentaje de incidencia de marchitez bacteriana, con ello minimizar el daño causado en los campos de tomate susceptible para obtener un rendimiento de fruto aceptable.

El experimento fue realizado en la Aldea Jicamapa, Ipala, Chiquimula para ello se aplicó el método de biofumigación evaluando cinco materiales orgánicos con características biofumigante y donde se evaluó el efecto sobre la incidencia de marchitez bacteriana, la severidad y el rendimiento del cultivo, bajo un diseño de bloques completos al azar donde se registró la presencia del agente causal de la enfermedad en suelo, incidencia en el cultivo, esto influirá en el rendimiento final de fruto y permitirá determinar la mejor relación beneficio/costo del material orgánico más eficiente como biofumigante.

El ensayo se dividió en dos etapas: en la primera se aplicó la técnica de biofumigación durante 45 días antes del trasplante de los pilones de tomate y la segunda etapa donde se realizó el establecimiento del cultivo bajo condiciones protegidas; se inició del mes de Abril a Noviembre del 2018, en el municipio de Ipala, Chiquimula.

Estadísticamente no se logró diferenciar una fuente de materia orgánica de las evaluadas que hace el mejor efecto biofumigante que reduzca incidencia a marchitez, los mejores rendimientos y relación beneficio costo por unidad de área. Pero sí se pudo determinar que las cinco fuentes hacen todos los efectos y no superan la media de susceptibilidad reportada para el cultivar Retana con 10 en la escala de valor de susceptibilidad. Identificando el efecto biofumigante con restos de cosecha de brassicas y gramíneas, como las fuentes de materia orgánica que reportaron la mayor relación beneficio costo.

## 2. MARCO TEORICO

## 2.1 Tomate

El Tomate es una planta de clima cálido pero se adapta muy bien a climas templados; por lo que en Nicaragua se puede sembrar en gran parte del territorio, prefiriéndose aquellos ubicados en alturas entre los 100 y 1500 m.s.n.m. En el período de lluvias la incidencia de enfermedades es mayor mientras que durante la época seca las plagas son el mayor problema. Sin embargo dichos problemas son superables mediante un conjunto de prácticas agrícolas que incluyan métodos de manejo y controles adecuados, los cuales tienen que ser realizados en el momento y la forma precisa en que se indica, ya que de estas depende el éxito de una buena cosecha. (Chemonics, 2008)

## 2.2 Condiciones de cultivo de tomate

El tomate es un cultivo que no lo afecta el fotoperiodo o largo del día, sus necesidades de luz oscilan entre las 8 y 16 horas luz al día. Los rangos de temperatura para un desarrollo óptimo del cultivo oscilan entre los 28-30 ° C durante el día y 15-18 ° C durante la noche. Temperaturas de más de 35 ° C y menos de 10 ° C durante la floración provocan caída de flor y limitan el cuajado del fruto aunque existen materiales genéticos que cuajan a altas temperaturas. La humedad relativa óptima para el cultivo de tomate oscila entre 65-70 %; dentro de este rango se favorece el desarrollo normal de la polinización, garantizando así una buena producción. (Chemonics, 2008)

## 2.3 Enfermedad

El estatus de enfermedad, se define como un estado de anormalidad de la planta, en el cual se ve reducido su potencial productivo, asociado a un deterioro de su estructura e incluso su colapso.

Para que se pueda manifestar una enfermedad, se deben asociar tres factores, cuya importancia es relativa en cuanto a la susceptibilidad a un determinado patógeno y la severidad de su interacción. Un primer factor está asociado a la presencia de los patógenos en el medio, lo cual corresponde, en términos normales, a la dinámica ecológica de los suelos en cuanto a la diversidad y de regulación poblacional. Esta diversidad se ve alterada como consecuencia del monocultivo de determinadas especies hortícolas, del uso de pesticidas y también de las prácticas de manejo productivo, las cuales favorecen el desarrollo de ciertas poblaciones que presentan una mayor afinidad con las plantas cultivadas. Este mismo factor es el responsable del incremento de la severidad de los patógenos, al potenciar procesos de selección que se traducen en resistencias o tolerancias a los medios de control químicos. Otro factor, corresponde a la condición del hospedero, en cuanto a su etapa fenológica y metabólica, la cual tiene relación con la resistencia o tolerancia frente a la interacción con un determinado patógeno (Chemonics, 2008)

## 2.4 Bacteria

Las bacterias son microorganismos unicelulares, generalmente con un tamaño de 1-2  $\mu\text{m}$ , que no pueden verse a simple vista. Las bacterias asociadas a las plantas pueden ser benéficas o dañinas. Las bacterias asociadas con las plantas tienen morfología variada, estas formas constituyen una manera simple de diferenciarlas. Hay bacilos (bastones), cocos (esféricas), bastones pleomórficos (tendencia hacia formas irregulares) y formas espiraladas. La mayoría de

las bacterias asociadas con las plantas son bastones. En general, las bacterias se reproducen por fisión binaria (una célula se divide en dos). En condiciones naturales las bacterias fitopatógenas sobreviven en residuos vegetales sobre la superficie del suelo, en o sobre semillas, en el suelo, y asociadas con hospedantes perennes. Pero algunas bacterias también pueden sobrevivir en el agua, y algunas hasta en objetos de trabajo (maquinaria, material de empaque, herramientas, etc.) o sobre o dentro de insectos. (Gómez, 2011).

### 2.5 Marchitez bacteriana

La Marchitez bacteriana es una enfermedad mortal para muchas especies de plantas, más notoriamente de miembros de la familia de las Solanáceas a la cual pertenecen cultivos importantes como el tomate, chiles, berenjena y papa. La enfermedad es causada por la bacteria *Ralstonia solanacearum* (antes *Pseudomonas solanacearum*). (FHIA, 2012)

### 2.6 Agente causal

El patógeno causante de la enfermedad, la bacteria *R. solanacearum*, es realmente un conjunto de razas o cepas que comparten suficientes características morfológicas, genéticas, bioquímicas y patogénicas para considerarlas una misma especie. No obstante, dichas cepas poseen algunas características distintivas que las diferencian entre sí, de las cuales en la práctica la más importante es la habilidad para infectar distintas especies de plantas. (FHIA, 2012)

**Raza 1.** Esta raza tiene un amplio rango de plantas hospederas y es usualmente conocida como la raza de las Solanáceas puesto que este es el grupo más importante de plantas cultivadas que ataca (exceptuando a la papa); también ataca jengibre, cacahuete, etc.

**Raza 2.** Ocurre en plantas de la familia de las Musáceas, a la cual pertenecen el banano, plátano y moroca, causándoles la enfermedad llamada “Moko”.

**Raza 3.** Es la raza que preferencialmente ataca a la papa y al geranio.

### 3.7 Biología de *Ralstonia solanacearum*

*Ralstonia solanacearum*, infecta una planta y penetra por el sistema de absorción radicular y entra en el sistema vascular, distribuyéndose a los vasos del tejido xilémico (tubo conductor) de forma vertical u horizontal (Watanebe, 2006).

La bacteria se dispersa principalmente a través del suelo, sobreviviendo en este medio por largos periodos de tiempo. Además es posible su transmisión por medio del agua, equipo o por materiales infectados.

Cuando la bacteria afecta los cultivos de un país, región o zona, las posibilidades de diseminación son múltiples, como suelo infectado, aguas, labores culturales, etc., ya que es un patógeno del suelo y tiene la capacidad de persistir en él, aún sin el hospedante específico. Dicha capacidad va a depender de la raza presente, lo que dificulta la aplicación de medidas de control eficientes.

El desarrollo de la enfermedad depende de (temperatura y de humedad), la temperatura de 25° C favorecen la multiplicación bacteriana. La marchitez bacteriana persiste en el suelo durante todo el año. También se propaga de manera eficiente en suelos infectados, así como en el agua de riego.

En general, la raza 3 sobrevive mejor bajo condiciones de alta humedad en suelo y temperatura baja; asimismo se disminuye su virulencia, cuando las temperaturas exceden los 35 ° C. La enfermedad es más severa en 24-35 ° C y rara vez se encuentra en climas templados donde la temperatura media de invierno para cualquier mes cae por debajo de 10 ° C. (Rueda-Puente, et al. 2014)

## 2.8 Biofumigación

La biofumigación se fundamenta en la acción fumigante de las sustancias volátiles resultantes de la biodescomposición de la materia orgánica fresca para el control de los organismos patógenos del suelo (A. Bello *et al.*). Se habla de una serie de efectos directos de la biofumigación sobre el suelo, además de otros efectos indirectos:

- En la degradación de la materia orgánica incorporada intervienen un gran número de microorganismos, que se ven favorecidos por el aumento de materia orgánica, y que actúan como antagonistas (*Aspergillus*, *Trichoderma*...) de los patógenos del suelo, que ocupan el espacio y entran en competencia con los patógenos.
- Las sustancias volátiles (como los isotiocianatos, en adelante ITCs), amonio y fenoles producidos en la biodegradación (fermentación, etc.) de la materia orgánica aplicada favorecen el control de patógenos del suelo e incrementan la eficacia de la técnica cuando se incluye en un sistema integrado de producción de cultivos.
- Las condiciones de anaerobiosis (falta de oxígeno) creadas en el terreno durante la aplicación de la técnica debido a la inundación del terreno en agua de riego también tienen un efecto negativo inhibitorio sobre el desarrollo de los patógenos del suelo.
- El aumento, en el suelo, de materia orgánica en sus diferentes formas (fresca, madura, humus, etc.) tiene un efecto mejorante (contrario de degradante) del suelo que hace aumentar su fertilidad general (física, química y biológica) y, por lo tanto, permite al suelo la recuperación de su sanidad y de su equilibrio.

### Etapas del proceso de Biofumigación

**Etapas 1.** El efecto biosida de las sustancias volátiles (ITCs), y de otros como el amonio, sobre las poblaciones de patógenos sólo se da en esta etapa, que dura unos 2 o 3 días (A. Bello *et al.*). Al mismo tiempo, la población de hongos saprofitos, antagonistas de los patógenos del suelo, se ve favorecida por la presencia de la materia orgánica. En cuanto al nivel de contenido de oxígeno en el suelo, éste va disminuyendo constantemente por el consumo que hacen las crecientes poblaciones de microorganismos, que por otra parte no se ve renovado debido al sellado del suelo, que tiene que ser completo con el fin de asegurar la efectividad de la técnica. Esta primera etapa de la biofumigación es la más importante, ya que es donde se alcanza un máximo de población microbiana, un máximo contenido de sustancias volátiles nocivas por los patógenos del suelo y un mínimo contenido de oxígeno en el suelo, principales efectos sobre los cuales se basa la técnica.

**Etapas 2.** Una vez pasados los efectos nocivos inmediatos de las sustancias generadas anteriormente, se inicia una segunda etapa caracterizada por la normalización de la situación, con una disminución general de las poblaciones de microorganismos presentes en el suelo, donde la presencia de materia orgánica favorece la supervivencia de los microorganismos

saprofíticos (consumidores de materia orgánica: *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria*...). Éstos tienen poder fungistática (de desplazamiento de unos hongos por competencia de otros) sobre las poblaciones de hongos patógenos. Por otra parte, a causa de la normal pérdida de agua el sellado del suelo disminuye, aumenta el contenido en oxígeno y se libera parte de las sustancias biocidas generadas en la etapa 1.

**Etapa 3.** Después de las dos o tres semanas que duran estas dos etapas, los microorganismos del suelo se estabilizan en función de la situación dejada por las etapas anteriores, es decir, con preeminencia de las colonias de microorganismos saprofíticos y antagonistas sobre las de patógenos. A partir de aquí se considera acabada la aplicación de la técnica, pudiendo implantar los nuevos cultivos a partir de los 2-3 días siguientes. (Ingelo, 2010)

Daniel Rafael Vuelta-Lorenzo en su investigación sobre alternativas contra plagas del suelo integra la Biofumigación y solarizado como tratamientos, donde evaluó el efecto de la Biofumigación (BF), Biofumigación con solarizado (BF+S) y el testigo (T). De las cuales la más efectiva fue la combinación de BF + S.

## 2.9 Solarización

Es un proceso térmico o de calentamiento del suelo que utiliza la radiación solar. Consiste en cubrir el suelo húmedo con un film de polietileno transparente, durante cuatro a seis semanas en los meses de mayor temperatura (verano). La temperatura que logra el suelo durante este proceso es letal para muchos patógenos, insectos y malezas. Además la solarización induce una serie de cambios biológicos, físicos y químicos en el suelo modificando positivamente la composición microbiológica del suelo.

La efectividad de la solarización depende de la temperatura que se logra en el suelo, la cual está en función de la estructura de suelo, temperatura del aire, humedad del suelo, largo del día, intensidad de luz solar y de la capacidad del film de polietileno para dejar pasar luz y retener la energía transmitida (grosor). Algunos autores señalan también, como factores importantes que influyen sobre la efectividad del proceso, el contenido de materia orgánica, los tipos de patógenos e insectos presentes, el historial de cultivos del suelo tratado y todos aquellos componentes propios de la ecología del suelo. (Carrasco, et al. 2002)

## 2.10 Brasicas

La utilización de brasicas como fuente de materia orgánica fresca para la biofumigación es una de las alternativas a la no utilización de estiércoles que resulta más barata y no presenta dificultades técnicas en el manejo. (Ingelo, 2010)

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. (Aguirre, 2008)

## 2.11 Gramíneas

Las poáceas en general son plantas arbustivas salvo algunas especies leñosas (como el bambú), existen especies perennes y anuales. Existen descritas unas 12.000 especies. Los tallos cilíndricos suelen ser huecos (todas las cañas son poáceas). Las hojas tienen morfología ligulada de tamaño variable. Tal vez la característica más común entre las gramíneas sean sus inflorescencias, la espiga, en la que se agrupan varias espiguillas. En la epiguilla las flores se agrupan cerca del tallo sobre un raquis articulado frecuentemente pequeño.

Las gramíneas son los vegetales más importantes a nivel económico en todo el mundo. De ellos se obtienen cereales tales como trigo, arroz, maíz o cebada. En cuanto a importancia vegetal es el cuarto grupo con más diversidad en el planeta, detrás de las compuestas, las orquídeas y las leguminosas.

#### 2.12 Gallinaza

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 12 altas cantidades de nitrógeno en diversas formas principalmente amonio que se transforma en amoníaco. (Aguirre, 2008)

#### 2.13 Bovinaza

Este es uno de los abonos más activos. Es más peco y más caliente que el otro lo que lo hace ventajoso a los suelos fuertes y fríos, a los que adelgaza y favorece, desecándolos.

El estiércol bovino libera aproximadamente la mitad de sus nutrientes en el primer año. El contenido de nutrientes en el estiércol varía dependiendo de la clase de animal, su dieta y el método de almacenamiento y aplicación. La aplicación del abono o del estiércol mismo activa la micro y macro fauna en el suelo y mejora la estructura.

El guano de vacuno, de ave y de animales ovinos; además de residuos de plantas crucíferas y rastrojos de cosecha de tomate, son algunos tipos de materia orgánica evaluados por INIA en trabajos con biofumigación, para el control de nematodos del suelo, hongos fitoparásitos y malezas, obteniendo buenos resultados, especialmente en el control de nematodos.

#### 2.14 Incidencia

Incidencia es la proporción (o porcentaje) de unidades enfermas. Las unidades pueden ser plantas completas u órganos (tallos, raíces, frutos, etc.). Es una medida cualitativa. (Popler, 2011)

### 3. OBJETIVOS

### 3.1. Objetivo General

Generar información sobre el efecto de la biofumigación de suelo que permita reducir el porcentaje de incidencia de marchitez bacteriana y mejorar los rendimientos de tomate del cultivar Retana, en el municipio de Ipala Chiquimula.

#### 3.1.2. Objetivos Específicos

- 3.1.2.1 Analizar la incidencia de marchitez bacteriana en cultivo de tomate, por efecto de la biofumigación con diferentes fuentes de Materia orgánica al suelo.
- 3.1.2.2 Analizar el rendimiento del cultivo de tomate en kilogramos por hectárea como efecto de la biofumigación.
- 3.1.2.3 Determinar la mejor relación beneficio/costo de los materiales orgánicos utilizados en la técnica de biofumigación.

## 4. HIPOTESIS

- 4.1. Al menos uno de los tratamientos de Biofumigación, presentan diferencias estadísticamente significativas en cuanto la incidencia causada por *R. solanacearum*
- 4.2. Al menos uno de los tratamientos de Biofumigación, presentan diferencias estadísticamente significativas en cuanto rendimiento total en kilogramos de tomate.

## 5. METODOLOGIA

### 5.1 Localidad y época

El experimento se realizó en una finca productora de tomate (*Solanum lycopersicum*) ubicada en la aldea Jicamapa del municipio de Ipala, Chiquimula donde existe evidencia de

presencia de marchitez bacteriana en los suelos, durante los meses de Abril a Noviembre del 2018 (Anexo 1.).

## 5.2 Diseño experimental

Para el experimento se utilizó un diseño de bloques completos al azar, el cual conto con cinco tratamientos y cuatro repeticiones.

## 5.3 Tratamientos

- a. Biofumigación con solanáceas + Solarizado
- b. Biofumigación con brásicas + Solarizado
- c. Biofumigación con gramíneas + Solarizado
- d. Biofumigación con gallinaza + Solarizado
- e. Biofumigación con bovinaza + Solarizado

Las fuentes de materia orgánica utilizadas en la técnica de biofumigación surgen de la necesidad de buscar usos alternativos y su efecto biofumigante para el control de marchitez bacteriana ya que en bibliografía citada se ha podido comprobar que tienen un buen efecto sobre otros patógenos del suelo. Los materiales orgánicos han sido evaluadas y demostrado su potencial biofumigante bajo otras condiciones y cultivo a nivel nacional e internacional.

- a. Biofumigación con restos de cosecha de solanáceas + Solarizado

Cuando se aplican los restos de cosecha al suelo se produce una secuencia de cambios microbiológicos. Al principio se produce una proliferación de microorganismos que se nutren y obtienen energía de la materia orgánica, iniciando su descomposición. Durante la descomposición se estimula el desarrollo de otros organismos tanto benéficos como perjudiciales.

La acción de los microorganismos sobre la materia orgánica durante su descomposición, origina una gran cantidad de productos químicos que participan en el control de patógenos del suelo.

Para evitar problemas posteriores de toxicidad para las plantas de tomate y pimiento que pueden presentarse por el uso de esta técnica, se recomienda usar diferentes especies hortícolas, como lechugas (semillas y platines), las cuales reaccionaron rápidamente ante la presencia de sustancias tóxicas en el suelo derivadas de la biofumigación.

- b. Biofumigación con restos de cosecha de brásicas + Solarizado

Las brásicas contienen unos compuestos llamados glucosinolatos que cuando se hidrolizan por la acción de la enzima mirosinasa dan lugar a los isotiocianatos (ITCs). Los glucosinolatos son inactivos contra microorganismos, pero los productos resultantes de la hidrólisis son biocidas muy eficaces contra nemátodos, bacterias, hongos, insectos y la germinación de semillas. (Ingelo, 2010)

La inflorescencia de brócoli contiene la presencia de glucosinolatos aproximadamente en 1 a 2%, los glucosinolatos también llamados heterósidos sulfocianogénicos 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 mirosinas (tioglucosidasas) que al ejercer su acción enzimática, dan como producto resultante los isotiocianatos volátiles denominados sevenoles. (Aguirre, 2008)

c. Biofumigación con restos de cosecha de gramíneas + Solarizado

Otra planta de interés, de la familia de las gramíneas, es el sorgo (*Sorghum bicolor* S. *sudanense*), que contiene compuestos cianhídricos.

En diferentes ensayos, enmiendas con residuos de boniato, papa, espinaca, tomate y sorgo fueron en algunos casos tan efectivos como los residuos de brasicas, por lo que numerosos autores suponen que el aporte de materia orgánica sobre la comunidad microbiana puede favorecer la aparición de antagonistas y contribuir a la reducción de la población de patógenos.

d. Biofumigación con Gallinaza + Solarizado

Para que un material orgánico tenga función biofumigante tiene que estar en las primeras fases de descomposición, lo que no sucede con la materia orgánica aportada normalmente como abono, que se trata de materia orgánica estabilizada.

Las dosis de aplicación oscilan entre la 25-50 t/ha, según el tipo de material utilizado y de la presión de patógenos en el suelo en biofumigar. A elevadas presiones de patógenos las dosis pueden ser máximas (50 t/ha), si bien se pueden reducir aplicando la materia orgánica por surcos. Cuando las presiones de patógenos no son tan elevadas y el objetivo principal de la biofumigación es contrarrestar la fatiga del suelo, las dosis se pueden reducir a valores alrededor a las 20-25 t/ha.

e. Biofumigación con Bovinaza + Solarizado

Para el estiércol, se tiene que procurar que durante su transporte y almacenaje no se pierdan los gases producidos en la biodegradación cubriéndolos con plásticos u otros materiales hasta el momento de la aplicación. El biofumigante se tiene que esparcir uniformemente para que no aparezcan focos de patógenos que puedan recolonizar el espacio, y se tiene que incorporar cuanto antes mejor.

En biofumigación se han probado varios tipos de materia orgánica para el control de nematodos, hongos Fitoparásitos y malezas, con buenos resultados especialmente en el de control nematodos. Entre ellos: guano vacuno, estiércol de pavo, residuos de plantas con efectos alelopáticos.

#### 5.4 Tamaño de la unidad experimental

La dimensión de la parcela para la investigación fue de 12.80 metros de ancho y un largo de 40 metros lo que corresponde a un área total experimental de 512 metros cuadrados; el área por unidad experimental fue de 6.40 metros de ancho y 4 metros de largo correspondiente a 25.60

metros cuadrados para la unidad experimental. El distanciamiento de 0.40 metros entre planta y 1.60 metros entre surcos, siendo la densidad de 40 plantas por parcela bruta, se consideró efecto de borde en los extremos de dos plantas de cada unidad experimental. Las dimensiones de la parcela neta fueron de 3.40 m de ancho por 3.20 m de largo correspondiendo a una parcela neta de 10.88 metros cuadrados, siendo la densidad por parcela neta de 12 plantas.

### 5.5 Modelo estadístico

Para evaluar el efecto de la Biofumigación con los diferentes materiales se utilizó un diseño de bloques completos al azar. A continuación se presenta el modelo de BCA:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

$Y_{ij}$ : La variable respuesta

$\mu$ : la media general

$\tau_i$ : el efecto de i-ésimo tratamiento

$\beta_j$ : el efecto de j-ésimo bloque

$\varepsilon_{ij}$ : el efecto del error experimental

### 5.6 Variables de respuesta

- ✓ Unidades formadoras de colonias (UFC), por gramo de suelo
- ✓ Incidencia (número de plantas con síntomas) 40,50, 60,70, 80 DDT
- ✓ Rendimiento (kg/ha)
- ✓ Relación beneficio-costo (Quetzales)

### 5.7. Análisis de la información

#### A. Unidades formadoras de colonia

La cantidad de unidades formadoras de colonia nos facilitó la información sobre la presencia de agente causal *Ralstonia solanacearum* en el suelo del área experimental, para obtener esto se enviaron a laboratorio muestras de suelo. Los muestreos se realizaron antes de aplicar los tratamientos, antes de sembrar el cultivo susceptible 50 ddt y 80 ddt.

#### B. Incidencia

Incidencia es la proporción (o porcentaje) de unidades enfermas. Las unidades pueden ser plantas completas u órganos como son los tallos, raíces, frutos, etc.

Se determinó la incidencia por medio del método de observación donde se identificaron aquellos individuos que presentaron los síntomas característicos de la enfermedad marchitez bacteriana y se relacionó respecto al número total de individuos del experimento según el tratamiento aplicados.

$$\% \text{ de Incidencia} = \frac{\text{Número total de plantas con síntomas}}{\text{Número total de plantas muestreadas}} \times 100$$

#### C. Rendimiento

Relación de la producción total de un cierto cultivo cosechado por hectárea de terreno utilizada. Se mide usualmente en kilogramos por hectárea (Kg/ha).

El rendimiento se determinó por la cantidad de frutos sanos cosechados de las parcelas con los diferentes métodos de desinfección aplicados, donde se utilizó la medida de kg/ha de fruto de tomate esto permite tener datos necesarios para poder realizar la evaluación financiera del experimento.

#### D. Relación beneficio/costo (RB/C)

La relación costo beneficio toma los ingresos y egresos presentes netos del estado de resultado, para determinar cuáles son los beneficios por cada quetzal que se sacrifica en el proyecto.

Su criterio dice que para que el proyecto sea aceptado y se recupere satisfactoriamente la inversión realizada conjuntamente con su tasa determinada (TREMA) se debe obtener una relación beneficio/costo igual o superior a 1.0, mientras que si es inferior no recupera la inversión y se tendrán pérdidas.

$$\text{RB/C} = \text{Valor presente de los beneficios} / \text{Valor presente de los costos}$$

$$\text{RB/C} = \text{VAN Beneficios} / \text{VAN Costos}$$

### 5.8 Manejo del experimento

#### A. Análisis de laboratorio

Se realizó un análisis inicial de colonias totales y unidades formadoras de colonias donde se conoció como se encontraba la bacteria en ese momento en el suelo de la localidad, posterior a la biofumigación y a los 30, 60 y 90 días después de trasplante. Además se realizaron análisis de fertilidad de suelo antes y después del proceso de biofumigación.

#### B. Preparación del terreno

Se realizaron pasos de rastra y arado en la unidad experimental para poder contar con el suelo menos compactado y que permita la adecuada penetración de las raíces por el perfil.

#### C. Trazado del experimento

Una vez conocida la aleatorización de los bloques en franja, se delimitaron las repeticiones además de colocar una identificación de cada una por medio de un rótulo.

#### D. Obtención de materiales biofumigantes

Para la ejecución del ensayo se contó con cinco materiales que fueron evaluados por sus características biofumigantes, los cuales se recolectaron en el momento oportuno para su aplicación en el área experimental.

#### E. Procesamiento e incorporación de fuentes orgánicas

Los diferentes materiales fueron sometidos al proceso de picado como se indica en el manual de “Biofumigación” de MAGA (metodología utilizada) para favorecer su descomposición por los microorganismos. La metodología incluye un tiempo mínimo de 45 días para permitir descomposición de las fuentes orgánicas y liberación de las sustancias que hacen el efecto biofumigante. La dosis de 30 toneladas por Hectárea.

#### F. Establecimiento del cultivo

Se estableció el cultivo de tomate variedad Retana el cual es un material susceptible pero que es de preferencia para los agricultores en el área experimental.

#### G. Control de malezas

Se realizó un control de malezas menos intenso que en otros casos pues los métodos de desinfección de suelo y la utilización de acolchado disminuyó la presencia de malezas.

#### H. Control de Plagas y enfermedades

En esta actividad se contó con un plan fitosanitario donde se incluyó la utilización de insecticidas y fungicidas preventivos y de contacto según se presente algún patógeno o insecto perjudicial en el cultivo.

#### I. Fertilización

La demanda mineral del cultivo fue abastecida por la fertilización en forma hidrosoluble en el sistema de riego y granulada en caso de fertilizantes físicos, también se hicieron las aplicaciones de calcio y los foliares para completar los micronutrientes y elementos menores, según el calendario de fertirriego acordado con el productor colaborador

#### J. Cosecha

En el momento de la cosecha se seleccionaron los frutos con la coloración adecuada para poder llevarlos al mercado, dejando un tiempo más para su maduración aquellos que no presenten el color rojo brillante respectivo.

#### K. Tabulación de datos

La tabulación se realizó una vez concluido el experimento para poder elaborar el documento final. El registro de la información se consolidó en cuadros y tablas utilizando para ello hojas electrónicas en el programa excel. El análisis estadístico de las variables respuestas se realizó con la colaboración de experto estadista del Centro Universitario de Oriente. Para ello se utilizaron los modelos lineales generales y mixtos, y, comparación de medias utilizando LSD Fisher.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el siguiente apartado se presentan los resultados obtenidos de las variables evaluadas; expresión de incidencia de la marchitez bacteriana, rendimiento total por hectárea del cultivo

de tomate y al mismo tiempo se muestran los análisis utilizados mediante modelos lineales generales y mixtos, y, comparación de medias utilizando LSD Fisher y relación beneficio costo.

### 6.1. Incidencia

Mediante el análisis de prueba de hipótesis secuenciales de los valores en porcentaje de incidencia de la marchitez bacteriana; sobre el cultivar de tomate susceptible (Retana); tratamiento y días después del trasplante, se determinó que existe diferencia significativa; entre los tratamientos y entre los parámetros de observancia de la expresión y su efecto frente a *R. solanacearum*; evaluados al cinco por ciento de significancia. Los parámetros de observancia analizados según aparición de los primeros síntomas de marchitez bacteriana fueron: 40, 50, 60, 70 y 80 días después del trasplante (DDT), determinando según prueba de hipótesis para contrastes, que existen diferencia significativa en la aparición de síntomas de marchitez bacteriana entre los 60 y 70 días después del trasplante por ende se rechaza la hipótesis planteada; (cuadro 2 y 3).

Cuadro 2. Prueba de hipótesis secuenciales del indicador de incidencia de marchitez bacteriana expresado en porcentaje; por efecto de la biofumigación con cinco fuentes de materia orgánica y DDT para la expresión de los síntomas en el cultivo susceptible en La Finca Jicamapa, Ipala, Chiquimula. 2018

	numDF	denDF	Valor -F	Valor -P
(Intercepción)	1	72	3.66	0.0598
TRATAMIENTO	4	72	4.06	0.0050
DDT	4	72	3.73	0.0081
TRATAMIENTO:DDT	16	72	0.36	0.9866

Fuente: Elaboración propia; DDT: días después del trasplante.

El cuadro 3, presenta la prueba de comparación de medias efectuada al cinco por ciento de significancia, identificando a los tratamientos de biofumigación al suelo más solarizado utilizando: gramínea, bovinaza, y brassicas, como las fuentes de Materia Orgánica que registraron un mejor efecto sobre la observancia de incidencia en porcentaje de marchitez bacteriana en el cultivar de tomate susceptible Retana. Los tratamientos utilizando como fuente biofumigante; solanáceas y gallinaza demostraron tener el menor efecto registrando los mayores porcentajes de incidencia de la enfermedad. A partir de los 40 y 50 DDT.

Cuadro 3. Prueba de Medias Ajustadas y errores estándares para Tratamientos, LSD Fisher (alfa=0.05), para el indicador de incidencia de marchitez bacteriana, en el cultivar susceptible (RETANA), en Finca Jicamapa, Ipala, Chiquimula, 2018.

TRATAMIENTOS	Medias	E:E		
SOLANACEAS	0.23	0.05	A	
GALLINAZA	0.11	0.05	A	B
BRASICAS	0.10	0.05		B
BOVINAZA	0.07	0.05		B
GRAMINEAS	0.02	0.05		B

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo al presentarse diferencia significativa entre los parámetros de observancia 40, 50, 60, 70 y 80 días después del trasplante: en el cuadro No.4 se presenta los resultados de la prueba de hipótesis para los respectivos contrastes. Determinando que existen diferencias significativas principalmente entre los valores de porcentaje de incidencia a marchitez bacteriana entre los 60 y 70 DDT.

Cuadro 4. Prueba de hipótesis para contrastes entre DDT, del indicador de incidencia de marchitez bacteriana en La Finca Jicamapa, Ipala, Chiquimula. 2018

DDT	Contraste	E.E	F	gl	gl(dem)	Valor -P
40-50	-0.02	72	3.66	1	75	0.4223
50-60	-0.03	72	4.06	1	75	0.3554
60-70	-0.13	72	3.73	1	75	0.0750
70-80	-0.02	72	0.36	1	75	0.8253
Total			3.73	4	75	0.0080

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 5, presenta la prueba de comparación de medias ajustadas al cinco por ciento de significancia, para los contrastes; determinando que el periodo a partir de los 60 días después del trasplante, es el tiempo en donde se observan los cambios significativos en cuanto a incidencia de síntomas de marchitez bacteriana.

Infiriéndose que los tratamientos que superan los 60 ddt, y que presentan los menores porcentajes de incidencia, son quienes causan un mejor efecto sobre las poblaciones de *R. solanacearum*. En tal sentido se reconfirma un rechazo a la hipótesis ya que si hay diferencia significativa en cuanto al efecto de los tratamientos sobre la incidencia de marchitez bacteriana a partir de los 60 ddt.

Cuadro 5. Prueba de Medias Ajustadas y errores estándares para Días después del Trasplante, LSD Fisher (alfa=0.05), para el indicador de incidencia de marchitez bacteriana, en el cultivar susceptible Retana, en Finca Jicamapa, Ipala, Chiquimula, 2018.

Cultivar	Medias	E.E.		
80	0.22	0.08	A	
70	0.19	0.07	A	
60	0.07	0.03	A	B
50	0.04	0.02		B
40	0.02	0.02		B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

Fuente: Elaboración propia.

La figura 1, muestra el efecto de los tratamientos a través del tiempo, registrando una variación en cuanto a observancia de la expresión de marchitez bacteriana sobre el cultivar susceptible Retana, infiriéndose que el efecto biofumigante de los tratamientos ejercen una disminución y/o represión de las poblaciones de bacteria, permitiendo que el cultivar susceptible pueda completar su ciclo vegetativo de floración, llenado de fruto y así llegar a etapa de cosecha, hasta un máximo de 60 ddt.

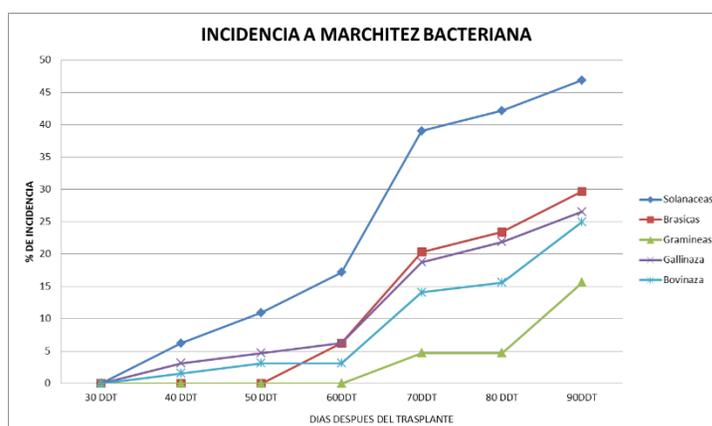


Figura 3. Porcentajes de incidencia de marchitez bacteriana en el cultivar susceptible Retana, por efecto de la biofumigación con cinco fuentes de M.O. en la finca Jicamapa, aldea Jicamapa, municipio de Ipala, departamento de Chiquimula. 2018.

Utilizando como base los valores obtenidos mediante el porcentaje de incidencia de la marchitez bacteriana en el cultivar susceptible (Retana) por efecto de la biofumigación más solarizado con cinco fuentes biofumigantes, se procedió a estandarizar y re-escalar los valores con la finalidad de establecer el grado de incidencia de marchitez bacteriana por efecto del tratamiento en el cultivar Retana en una escala comprendida del 0 al 10;

entendiéndose como efecto de la fuente de materia orgánica que presento menor incidencia aquellos que presenten los valores más bajos y viceversa (cuadro 6).

Cuadro 6. Estandarización y re-escalamiento del grado de incidencia de marchitez bacteriana, por efecto de cinco fuentes de materia orgánica sobre el cultivar de tomate Retana 60 ddt, Finca Jicamapa, Ipala Chiquimula, año 2018

Fuente biofumigante	Grado de incidencia
Solanáceas	4.90
Brásicas	1.79
Gramíneas	0.00
Gallinaza	1.79
Bovinaza	0.89
Sin tratamiento	10.00

Fuente: Elaboración propia.

Determinando la eficacia del método de biofumigación más solarizado, utilizando como fuente biofumigante; restos de cosecha de gramíneas (sorgo forrajero), bovinaza, brassicas y gallinaza como los tratamientos que causaron los valores más bajos de respuesta del cultivar susceptible a la presión de unidades formadoras de colonias por gramo de suelo presentes en el área del proyecto. No descartando el efecto de usar como fuente biofumigante los mismos restos de cosecha de solanáceas, a pesar de tener el grado más elevado en comparación del resto de materiales, el cultivar susceptible no supero la media de incidencia en comparación a no hacer ninguna aplicación, (grado de incidencia 5 con respecto al valor de alta incidencia de 10).

## 6.2. Rendimiento

Según el análisis de prueba de hipótesis secuenciales de los valores de rendimiento, en Kilogramos por hectárea del cultivo de tomate susceptible a marchitez bacteriana, se determinó que no existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados al cinco por ciento de significancia, llevándonos a aceptar la hipótesis establecida; e infiriendo que los tratamientos evaluados causaron un efecto significativo en el control de la marchitez bacteriana sobre el cultivar susceptible, permitiéndole a las plantas completar su ciclo productivo sin afectar significativamente su producción.

Para lograr establecer este nivel de análisis, se realizó una validación simple de las suposiciones de los modelos lineales de prueba de hipótesis secuenciales, prueba de hipótesis marginales (Sc tipo III) y prueba de hipótesis tipo III- prueba, revisando residuales estandarizados versus predichos y otros criterios de clasificación.

Cuadro 7. Análisis de prueba de hipótesis secuenciales, para la variable rendimiento en kilogramos por hectárea, por efecto del método de biofumigación para control de marchitez bacteriana, Finca Jicamapa, Ipala Chiquimula 2018.

	Num DF	Den Df	Valor F	Valor p
(Intercept)	1	12	29.10	0.0002
Tratamiento	4	12	0.19	0.9415

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 13. Rendimiento en kilogramos por hectárea del cultivar Retana por efecto del método de biofumigación para control de marchitez bacteriana, Finca Jicamapa, Ipala Chiquimula 2018.

Tratamientos	Rendimiento Kg/ha.
Biofumigación con Solanáceas + solarizado	44,975.36
Biofumigación con Brassicas + solarizado	61,609.11
Biofumigación con Gallinaza + solarizado	40,627.00
Biofumigación con Bovinaza + solarizado	46,625.31
Biofumigación con Gramínea + solarizado	52,361.73

### 6.3. Rentabilidad financiera

Con el propósito de identificar los tratamientos con mayor beneficio económico y facilitar la toma de decisión relacionada con la selección de las nuevas tecnologías evaluadas, se determinó la relación beneficio costo de cada una de las fuentes de materia orgánica experimentales (cuadro 14). Todas las fuentes de materia orgánica evaluadas presentaron margen positivo de ganancia mediante el análisis de relación beneficio, siendo las fuentes biofumigantes brassica, gramínea el tratamiento al suelo con el mayor beneficio económico, por cada quetzal invertido se obtendrá una ganancia neta de 1.51 y 1.13 quetzales respectivamente. Considerándose en esta evaluación que invertir en una fuente de materia orgánica como brassicas o gramíneas se obtienen los mejores resultados en cuanto a relación beneficio costo.

Cuadro 14. Análisis financiero por hectárea de las fuentes de materia orgánica utilizada como elemento de biofumigación, en Finca Jicamapa, municipio de Ipala, Chiquimula.2018.

Costo Variable	Solanácea	Brassica	Gramínea	Gallinaza	Bovinasa
----------------	-----------	----------	----------	-----------	----------

Costo de incorporación de Materia Orgánica al suelo	Q 3,150	Q 3,150	Q 3,150	Q 2,100	Q 2,100
Costo de Fuentes de Materia Orgánica verde	Q 3,300	Q 13,200	Q 9,900	Q 13,200	Q 6,600
<b>Total de costos variables</b>	<b>Q 6,450</b>	<b>Q 16,350</b>	<b>Q 13,050</b>	<b>Q 15,300</b>	<b>Q 8,700</b>
Total de costos fijos	Q 104,658	Q 104,658	Q 104,658	Q 104,658	Q 104,658
Total	Q 111,108	Q 121,008	Q 117,708	Q 119,958	Q 113,358
Imprevistos (5%)	Q 5,555	Q 6,050	Q 5,885	Q 5,998	Q 5,668
Costo total/Ha	Q 116,663	Q 127,058	Q 123,593	Q 125,956	Q 119,026
<b>Ingresos por hectárea</b>	<b>Solanácea</b>	<b>Brassica</b>	<b>Gramínea</b>	<b>Gallinaza</b>	<b>Bovinasa</b>
Ingreso Q/Ha	Q 210,769	Q 289,481	Q 239,459	Q 186,968	Q 211,906
Ingreso ajustado (10%)	Q 21,077	Q 28,948	Q 23,946	Q 18,697	Q 21,191
Ingreso total/Ha	Q 231,846	Q 318,429	Q 263,405	Q 205,665	Q 233,097
Utilidad Bruta	Q 225,396	Q 302,079	Q 250,355	Q 190,365	Q 224,397
Utilidad Neta	Q 115,183	Q 191,371	Q 139,812	Q 79,709	Q 114,071
<b>Análisis financiero</b>	<b>Solanácea</b>	<b>Brassica</b>	<b>Gramínea</b>	<b>Gallinaza</b>	<b>Bovinasa</b>
Relación Beneficio/Costo	1.99	2.51	2.13	1.63	1.96

Fuente: Elaboración propia.

Dado que estadísticamente no existió diferencia significativa entre los tratamientos evaluados con respecto a rendimiento en Kg/ha, se infiere que todos los tratamientos causaron efecto positivo de supresión del agente causal de marchitez bacteriana en el cultivo de tomate susceptible Retana, ya que el proceso de desinfección del suelo utilizando el método de biofumigación más solarizado, logró superar 50 días después del trasplante antes de que los efectos de la marchitez bacteriana pudiera afectar el rendimiento del cultivar susceptible sometido a la presencia y presión del agente causal *R. solanacearum*. Según se pudo corroborar con los respectivos análisis de suelo con resultado Positivo para la bacteria *R. solanacearum* realizados en un laboratorio de reconocido prestigio a nivel nacional.

Este comportamiento de la investigación en cuanto a que todos los tratamientos presentaron arriba del 100% de beneficio tiene su explicación y efecto dado que; el precio de venta durante el periodo de cosecha superaron la media general del año, y aunque los costos de producción bajo condiciones protegidas de macro túnel se vieron afectados por una alta incidencia de enfermedades de follaje, que aumento los costos de producción comparándolos con la media general que se reportan a campo abierto y en casa malla.

Cuadro 15. Relación beneficio costo en diferentes precios de mercado, por caja de tomate por efecto del método de biofumigación, Finca Jicamapa Ipala, Chiquimula, 2018.

Precio	Solanáceas	Brassicas	Gramíneas	Gallinaza	Bovinasa
--------	------------	-----------	-----------	-----------	----------

por caja	Relación Beneficio/ costo	Relación Beneficio /costo	Relación Beneficio/ costo	Relación Beneficio/ costo	Relación Beneficio /costo
Q 20	0.34	0.43	0.37	0.28	0.36
Q 30	0.51	0.64	0.56	0.43	0.53
Q 40	0.68	0.85	0.75	0.57	0.71
Q 60	1.02	1.28	1.12	0.85	1.07
Q 80	1.36	1.71	1.49	1.14	1.42
Q 90	1.53	1.92	1.68	1.28	1.60
Q 100	1.70	2.13	1.86	1.42	1.78
Q 120	2.04	2.56	2.24	1.70	2.13
Q 150	2.55	3.20	2.80	2.13	2.66

Fuente: Elaboración propia.

La fuentes con efecto biofumigante, evaluadas: follaje verde de brassicas (brocolí), follaje de gramínea (sorgo forrajero), restos de cosecha de solanácea (tomate) y bovinaza presentaron respuesta en cuanto al cambio de precios en la caja de tomate, siendo económicamente factible desde el precio de Ochenta quetzales la caja en adelante, ya que se obtiene una ganancia por encima de la tasa de intereses de mercado superando los setenta y un, cuarenta y nueve, treinta y ocho y treinta y seis centavos por cada quetzal invertido respectivamente a excepción de la fuente biofumigante gallinaza que se considerará rentable a partir de un precio de venta de noventa quetzales (Q 90.00) para tener un ingreso neto de cuarenta y dos centavos por cada quetzal invertido.

### 6.3.1. Análisis de riesgo de la inversión

Utilizando como referencia los resultados de las variables incidencia, rendimiento y rentabilidad económica (cuadro 16), se observó que el cultivar de tomate Retana manifestó baja susceptibilidad a marchitez bacteriana debido al efecto de disminución de las poblaciones de *R. solanacearum* por efecto de la biofumigación. Considerando recomendar como tratamiento al suelo el método de biofumigación utilizando follaje verde de gramínea como primera opción o bien de restos de cosecha de brassicas como tratamiento alternativo dependiente de la disponibilidad local, incorporándolos como practica de rotación de cultivo en los campos con presencia comprobada de *R. solanacearum*. Biofumigación con gramínea más solarizado fue el tratamiento en donde el cultivar susceptible presento el menor grado de incidencia, seguido de bovinaza y brassicas respectivamente.

Biofumigación con gramínea más solarizado; aunque registro el segundo lugar en cuanto a rentabilidad con respecto a la biofumigación con hojas verde de brassicas, es el más factible de adquirirse localmente en comparación al esfuerzo e inversión para adquirir los restos de cosecha de brassicas, que podría ser una opción si se cultivará como rotación de cultivos en pequeñas extensiones o que exista suficiente oferta para recolectar los restos de brassicas de los mercados más cercanos a la finca. Se haría necesario poder realizar las respectivas validaciones en campo de cultivo de productores con el propósito de que ellos las conozcan

las prueben, comparen los márgenes de utilidad, las redes de colecta y traslado que implica adoptarla como una práctica de manejo de suelo adicional a las que ya realizan.

Cuadro 16. Priorización de resultados por efecto de la biofumigación al suelo con cinco fuentes de materia orgánica, para las variables incidencia, rendimiento y rentabilidad económica obtenidos en la fincas Jicamapa, Ipala, Chiquimula 2018.

Efecto de la biofumigación		Rendimiento		Beneficio económico	
Tratamientos	Grado de Incidencia	Tratamientos	Kg/Ha	Tratamientos	Relación B/C
Solanaceas	5	Solanaceas	44,975	Solanaceas	1.99
Brassicas	2	Brassicas	61,609	Brassicas	2.51
Gramineas	0	Gramineas	52,362	Gramineas	2.13
Gallinaza	2	Gallinaza	40,627	Gallinaza	1.63
Bovinaza	1	Bovinaza	46,625	Bovinaza	2.02
Sin aplicación	10	Sin aplicación	38,029	Sin aplicación	0.38

Fuente: Elaboración propia.

## 7. CONCLUSIONES

- 7.1. En función de la marchitez bacteriana causada por *R. solanacearum*, el cultivar de tomate susceptible evaluado, fue sensible al efecto del tratamiento de desinfección al suelo; biofumigación con cinco fuentes de materia orgánica. De las fuentes de materia orgánica evaluadas, el uso de follaje verde de gramíneas, bovinaza, gallinaza y brasicas, causaron un mayor efecto de reducción de las fuentes de inóculo; ya que, el cultivar Retana susceptible, manifestó un menor grado de incidencia de marchitez bacteriana a partir de los 60 días después del trasplante, y en un mayor grado pero sin superar la media de incidencia que reporta el cultivar susceptible Retana, manifestó su efecto la fuente de materia orgánica; restos de cosecha de solanáceas. Infiriendo que las fuentes de Materia Orgánica utilizadas como biofumigantes tienen un efecto sobre la incidencia de marchitez bacteriana en el cultivar de tomate susceptible debido a que el grado de incidencia determinado no superó la media con respecto al máximo valor de 10 que se le atribuye al cultivar de tomate evaluado en campos con presencia comprobada de *R. solanacearum* de la finca Jicamapa.
- 7.2. El rendimiento total, en el que se consideró el peso de los frutos de tamaño comercial (primera, segunda y tercera, ) del cultivar de tomate susceptible a marchitez bacteriana (Retana); permitió generar la información de que no existe diferencia sobre el rendimiento por efecto de la biofumigación utilizando cualquiera de las cinco fuentes de Materia orgánica.
- 7.3. El método de biofumigación más solarizado utilizando como fuente biofumigante hoja verde y tallo de Brassicas fue el tratamiento que presentó el mayor beneficio financiero, con una relación beneficio/costo de 2.51, seguida por el tratamiento utilizando follaje verde de gramíneas que presentó una relación de 2.13; por lo que son las dos fuentes biofumigantes que presentan mayor utilidad, si se comercializa la caja de tomate, equivalente a 50 libras en Q80.00

## 8. RECOMENDACIONES

- 8.1. Los agricultores que disponen de un sistema de producción de tomate con cobertura de mega túnel y que presentan problemas de *Ralstonia solanacearum* en sus suelos, podrían considerar adicionar a su paquete tecnológico la biofumigación más solarizado, como una práctica de desinfección de sus suelos para el control de marchitez bacteriana en tomate. Las fuentes biofumigantes evaluadas en este proyecto en base a su rentabilidad, demostraron que fueron eficaces ya que permitieron al cultivar susceptible Retana; llegar a finalizar su ciclo productivo. Sin registrarse diferencias significativas en cuanto a rendimiento en Kg/ha.
- 8.2. Validar las tres mejores fuentes biofumigantes (restos de cosecha de brassicas, gramíneas y bovinaza) en campo de productores afectados por la enfermedad y determinar cual tiene mayor factibilidad por su disponibilidad local, accesibilidad y esfuerzo extra del productor por ser una práctica nueva a incorporar en su sistema productivo.
- 8.3. Continuar evaluando las fuentes biofumigantes identificadas como las mejores, para hacer más accesible y adoptable la práctica en campo los productores de tomates susceptibles a la marchitez bacteriana.
- 8.4. Evaluar otras propiedades que pudiera afectar o favorecer la productividad del suelo con la incorporación de la práctica de la biofumigación más solarizado con las fuentes de materia orgánica recomendadas.
- 8.5. Promover la Práctica de la Biofumigación más el solarizado utilizando las fuentes orgánicas evaluadas como una alternativa del programa de manejo para el control de marchitez bacteriana que el Consorcio de Investigación Cría Oriente ha generado.
- 8.6. Elaborar un manual de buenas prácticas para el control de marchitez bacteriana en el cultivo de tomate, utilizando toda la información generada en esta investigación y otras investigaciones complementarias que el programa de investigación de la cadena Tomate Región Oriente ha generado.
- 8.7. Que se incorpore dentro de las actividades de transferencia de tecnología que realiza MAGA, el método de biofumigación como una buena práctica de desinfección de suelo.
- 8.8. Validar el método de biofumigación más solarizado utilizando restos de cosecha de otra especie de Brassicas, como la Mostaza común (*Brassica nigra*).
- 8.9. Cuando se confirma la presencia de la bacteria *Ralstonia solanacearum* en los suelos de un sistema de producción, se debe estar consciente que es difícil su control, por lo que se deben tomar medidas para evitar su diseminación a otras áreas de la finca o a otras fincas; desinfectando el calzado, herramientas agrícolas, implementos del tractor y otros materiales usados en las áreas infectadas.
- 8.10 Utilizar las mismas áreas de estudio en donde se ha confirmado la presencia de *Ralstonia solanacearum* y evaluar métodos alternativos y/o complementarios para el control de la Marchitez bacteriana en tomate bajo las condiciones de mega tunel.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FHIA. 2012. Marchitez bacteriana en solanáceas: reconocimiento y manejo integrado/ Melgar, José C. et al. Lima, Cortes, Honduras. 6, 10-11 p.

Chemonics. 2008. Manual de cultivo de tomate. PDF Programa de diversificación hortícola. Nicaragua. 2 p.

Igelmo, Ángel. 2010. La Biofumigación, método biológico de control de patógenos del suelo. Ficha técnica Num. 11. 3-5 p.

Hernández, Roy 2002. Efecto biofumigante de diversas fuentes de materia orgánica en el cultivo de brócoli (oleracea var. Italica). Tesis de grado. La Alameda, Chimaltenango, Guatemala. 21-22, 40 p.

Vuelta-Lorenza, Daniel Rafael 2014. La biofumigación y la solarización como alternativas al manejo de plagas del suelo. Santiago de Cuba, Cuba. 15, 21-22 p.

Carrasco J., Jorge et al. 2001. Alternativas al bromuro de metilo para la desafección de suelos en tomate y pimiento. Instituto de Investigación Agropecuaria. San Fernando, Chile. Boletín INIA Num. 88. 75-81 p.

Popler, Daniel. 2011. Conceptos de Epidemiología vegetal. Universidad Nacional de Tucumán. PDF. 11 p.

Rueda-Puente, Edgar Omar et al. *Ralstonia solanacearum*: Una enfermedad bacteriana de importancia cuarentenaria en el cultivo de *Solanum tuberosum* L. Universidad de Sonora, Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, S.C. Sonora, México. 27 p.

Gómez Jaimes, Rafael et al. 2011. Enfermedades fungosas y bacterianas del cultivo de tomate en el estado de Nayarit. Centro de Investigación Regional del Pacífico. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. Folleto técnico No. 19. 19-20 p.

Aguirre Mejicanos, Hermer A. 2008. Evaluación de la producción de la variedad loman de papa (*Solanum tuberosum* L.) utilizando la técnica de biofumigación en ICTA – Alameda, Chimaltenango. Tesis de grado. Alameda, Chimaltenango. 9-12 p.

## 10. ANEXOS



Empresa IICA-CRISA  
 Atención a Ing. Milton Solís  
 Asunto Reporte de análisis de Fitopatología  
 Realizado por Dr. Marco Antonio Arévalo  
 Código 2110618  
 Cultivo Tomate  
 Localidad Aldea Itzamal, Ipala, Chiquimula  
 Fecha colecta 11 de Junio del 2018  
 Fecha recepción 13 de Junio del 2018  
 Fecha del informe 19 de Junio del 2018

**Muestras de suelo**

No.	Código
1	Testigo
2	Tratamiento 1
3	Tratamiento 2
4	Tratamiento 3
5	Tratamiento 4
6	Tratamiento 5

**Resultado análisis Inmunología, Enzyme-linked Immuno Sorbent Assay (ELISA)**

No. de muestra	<i>Ralstonia solanacearum</i> .
1	POSITIVO
2	NEGATIVO
3	POSITIVO
4	NEGATIVO
5	POSITIVO
6	NEGATIVO

**DIAGNOSTICO**

En las muestras de suelo Testigo, Tratamiento 3 y Tratamiento 5 se detectó la presencia de la bacteria *Ralstonia solanacearum* (Ra). En las muestras de suelo tratamiento 2, tratamiento 4 y tratamiento 6, se encuentran libres de Ra.



**Empresa** IICA-CRIA  
**Atención a** Ing. Milton Solís  
**Asunto** Reporte de análisis de Bacteriología  
**Realizado por** Dr. Marco Antonio Arévalo  
**Código** 3050918  
**Cultivo**  
**Localidad** Ipala, Chiquimula  
**Fecha colecta** 11 de Septiembre del 2018  
**Fecha recepción** 13 de Septiembre del 2018  
**Fecha del informe** 20 de Septiembre del 2018

#### MUESTRAS DE SUELO.

No.	Código
1	Tratamiento 1
2	Tratamiento 2
3	Tratamiento 3
4	Tratamiento 4
5	Tratamiento 5

#### Resultados Análisis Bacteriología

No. de muestra	Enzyme-linked Immuno Sorbent Assay (ELISA) <i>Ralstonia solanacearum</i> (Rs)	UFC/g* Medio de cultivo:TZC
1	POSITIVO	2.5X10 <sup>6</sup>
2	POSITIVO	4.5X10 <sup>6</sup>
3	POSITIVO	6.6X10 <sup>6</sup>
4	POSITIVO	2.1X10 <sup>6</sup>
5	POSITIVO	1.1X10 <sup>6</sup>

\*Unidad formadora de colonias por gramo.

#### DIAGNOSTICO

En todas las muestras de suelo analizadas se detectó la presencia de la bacteria *Ralstonia solanacearum* (Rs).

Diagonal 6, 15-47 Local 1 Zona 10, Guatemala, C. A. 01010  
 Teléfono: (502) 2366-5941, (502) 5201-2104, FAX: (502) 2367-3454

**Anexo No. 2** Resultados de análisis de suelo sobre presencia y cuantificación de unidades formadoras de colonias de *Ralstonia solanacearum* en Aldea Jicamapa, Ipala, Chiquimula.

